



Projecto

Mestrado em Engenharia Automóvel

***Contribuição das Emissões de Poluentes de Veículos
para a Poluição Atmosférica Urbana***

Elton Ailson da Cunha Alves

Leiria, Setembro de 2011



Projecto

Mestrado em Engenharia Automóvel

***Contribuição das Emissões de Poluentes de Veículos
para a Poluição Atmosférica Urbana***

Elton Ailson da Cunha Alves

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação do Doutor Nuno Alexandre Gonçalves Martinho Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria e co-orientação do Doutor Hélder Manuel Ferreira Santos, Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, Setembro de 2011.

Dedicatória

À Minha Mãe, Odete Cunha

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Agradecimentos

Este trabalho é uma experiência rica de aprendizagem que somente se tornou possível graças a solidariedade, colaboração e disponibilidade de pessoas muito especiais, a quem dedico os meus sinceros agradecimentos:

À Deus, por tudo que sou nessa vida, por me ter dado força e me iluminar nos momentos mais difíceis.

Ao meu orientador Doutor Nuno Alexandre Gonçalves Martinho e co-orientador Doutor Helder Manuel Ferreira Santos, pela orientação, atenção, boa vontade, amizade, disponibilidade, pelo incentivo, carácter ético, e sobretudo pela paciência que sempre tiveram comigo. Aprendi muito convosco, minha eterna gratidão.

Ao Doutor Luís Aires, pela disponibilidade que sempre demonstrou, prestando toda e qualquer informação sobre as emissões, programa de análise de emissão (COPERT 4) e legislação. Pela ajuda no desenvolvimento da folha de recolha de dados e análise dos dados obtidos. Muito obrigado.

Ao Engenheiro Nuno Pires, pela ajuda e disponibilidade revelada sempre que necessária.

À professora Judite Ventura por ter disponibilizado uma tarde para explicar as funcionalidades do CadnaA.

À minha querida mãe, Odete Cunha, por todo o amor, por acreditar sempre em mim e por ter apostado na minha formação pessoal e profissional. Tudo o que sou devo a você. Te amo.

À minha querida irmã Mizé Alves e ao seu marido Orlando, por todo apoio prestado para ajudar a financiar o meu Mestrado, por todo o amor, carinho e amizade que sempre demonstraram comigo. Sou muito grato a vocês.

À minha querida irmã Elizangila Alves e ao seu companheiro Toninho, por todo o apoio prestado, pelo incentivo, amizade, carinho e amor.

As minhas queridas irmãs Neusa Correia, Carina Alves e Liandina Alves. Obrigado por todo os vossos apoios, amizade, carinho, incentivo e amor.

Ao meu tio Rui Cunha e a sua esposa Tia Lola pela amizade, incentivo e por todo o apoio prestado.

À minha Tia Nete e ao seu marido Zé pela amizade, incentivo e por todo o apoio prestado.

Aos meus colegas Mauro Ribeiro e Marcelo Henriques pela ajuda no desenvolvimento e na análise dos resultados de emissão.

A todos os meus colegas de Mestrado da turma 2009/2010, em particular aos meus colegas Ricardo Alves e Rui Rico, pela amizade, forças, ânimos proporcionados nos momentos mais difíceis, e pelas valiosas contribuições para o termo deste projecto. Muito obrigado.

Aos meus amigos (Tony Vaz, Agnelo Mendes, José Landim, João Paulo Moreira, João Pedro, Nilton Barbosa, Elvis Silva, Domingos Andrade, Zé Gomes, Carlos Rosa, Joaquim Lopes, Cândido, Kibala), alguns distantes outros por perto, mas todos de uma forma ou outra contribuíram para o fim desse Projecto. Obrigado pela vossa amizade e apoio.

À minha amiga Clara Brito, pelo apoio, incentivo, força e animo. Por se preocupar sempre com o meu bem-estar. Muito obrigado por tudo.

À minha namorada Elizandra Garcia, por todo o amor, apoio, carinho, amizade, força, paciência. Muito obrigado, sem ti seria muito mais complicado conseguir.

A todos aqueles que por lapso da memória esqueci de mencionar e que sempre me apoiaram neste percurso os meus sinceros agradecimentos.

Resumo

O aumento do número de automóveis nas últimas décadas veio intensificar a poluição do ar, principalmente nos centros urbanos. É necessário encontrar soluções criativas e estáveis para a adequação dos numerosos fluxos de veículos, de modo a promover um ambiente urbano que propicie uma melhor qualidade de vida para as suas populações.

Neste sentido, no presente estudo são descritos os processos de formação e emissão/dispersão dos poluentes emitidos pelos veículos automóveis, bem como os métodos de controlo para redução das emissões produzidas por esses veículos.

O tráfego rodoviário desse local foi caracterizado em termos de volume, cilindrada, tipo de combustível, ano de fabrico e categoria (ligeiro ou pesado), com vista à modelação da emissão dos respectivos poluentes a partir de modelos de emissão próprios para o efeito - CORINAIR e HBEFA.

Com base nos dados da emissão, foi calculada a dispersão destes poluentes no centro urbano em causa a partir de uma norma própria para o efeito – AUSTAL2000.

Foram efectuadas medições de poluentes no local seleccionado para este estudo para a aferição dos resultados da modelação da dispersão resultante dos modelos de emissão e dispersão usados. Foram ainda efectuadas medições das condições meteorológicas que serviram como dados de entrada para o cálculo da dispersão.

O resultado final, “mapas de qualidade do ar” obtidos para os diferentes dias típicos da semana, são apresentados e analisados com base nas fontes retratadas e ainda nos valores de poluição de fundo obtidos a partir de uma estação de referência (Ervedeira).

Palavras-chave:

CORINAIR, HBEFA, AUSTAL2000, Dispersão, Emissão, Poluentes, Tráfego

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Abstract

The increase in the number of cars in recent decades has further intensified air pollution, especially in urban centers. It's needed to find creative and stable solutions for the adequacy of the numerous streams of vehicles, to promote an urban environment that provides a better quality of life for their people.

So, in this study is described the processes of formation and emission / dispersion of pollutants emitted by motor vehicles, as well as control methods for reducing emissions from these vehicles.

Road traffic was characterized in terms of volume, displacement, fuel type, year of manufacture and category (light or heavy), with the objective of modeling the emission of pollutants from their own emission models for this purpose - CORINAIR and HBEFA.

Based on the emission data, were calculated the dispersion of pollutants in the urban center in study from its own standard for this purpose - AUSTAL2000.

Measurements were made of pollutants at the site selected for this study to measure the results of dispersion modeling resultant of emission and dispersion models used. Weather conditions' measurements that were used as input for the dispersion's calculation were also made.

The final result, "the air quality maps" obtained for the several typical week days are presented and analyzed based on the sources and also portrayed in the background pollution values obtained from a reference station (Ervedeira).

Key-Words:

AUSTAL2000, CORINAIR, HBEFA, Dispersion, Emissions, Pollutants, Traffic

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Índice

<i>Contribuição das Emissões de Poluentes de Veículos para a Poluição Atmosférica Urbana</i>	i
<i>Contribuição das Emissões de Poluentes de Veículos para a Poluição Atmosférica Urbana</i>	ii
Dedicatória	i
Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vii
Índice	ix
Índice de Figuras	xiii
Índice de Tabelas	xvii
Nomenclatura	xix
1. Introdução	1
1.1 Contexto e Motivação	1
1.2 Objectivos.....	3
1.3 Organização do Documento	3
2. Revisão Bibliográfica	5
2.1 Introdução.....	5
2.2 Poluentes na Atmosfera.....	5
2.3 Poluentes Emitidos Pelos Veículos Automóveis	8
2.3.1 Óxido de Azoto (NO _x).....	9
2.3.2 Monóxido de Carbono (CO).....	11
2.3.3 Hidrocarbonetos não Queimados (HC)	12

2.3.4	Partículas (PM).....	14
2.4	Normas, Directivas e Legislação Europeia/Portuguesa de Controlo da Emissão..	15
2.4.1	Normas Europeia de Controlo da Emissão	16
2.4.2	Normas da Qualidade do Ar.....	20
2.4.3	Índice da Qualidade do Ar	22
2.5	Zonas de Baixa Emissão de Poluentes	23
2.6	Alternativas aos Veículos que Não Cumprem “Euro Standards” das LEZs.....	26
2.6.1	Filtro de Partículas Diesel	27
2.6.2	Catalisadores	31
2.6.3	Tecnologia de Controlo de NO _x	35
3.	Métodos.....	39
3.1	Introdução	39
3.2	Caracterização da Zona de Estudo	39
3.2.1	Cidade de Leiria	39
3.2.2	Centro da cidade de Leiria/Avenida Heróis de Angola.....	40
3.3	Métodos Experimentais.....	41
3.3.1	Medição Experimental	41
3.3.2	Registo do Tráfego Rodoviário	43
3.3.3	Metodologia do Registo de Veículos	44
3.3.4	Caracterização de Fluxo de Veículos	45
3.3.5	Tratamento dos Resultados	48
3.4	Simulação Computacional	50
3.4.1	Modelo de Previsão de Emissão de Poluentes Atmosférico (CORINAIR) ..	50
3.4.2	Modelo de Previsão de Dispersão de Poluentes Atmosférico (AUSTAL2000)	58
3.4.3	Cálculo de Emissão de Poluentes (CORINAIR).....	63
3.4.4	Cálculo de Dispersão de Poluentes (AUSTAL2000).....	68
3.4.5	Dados Meteorológicos.....	72
4.	Apresentação e Análise de Resultados.....	79

4.1	Introdução.....	79
4.2	Análise do Tráfego	79
4.2.1	Evolução do Tráfego	79
4.2.2	Caracterização e análise das Frotas	80
4.3	Análise de Emissão de Poluentes	83
4.3.1	Emissão em Arranque a Frio	83
4.3.2	Emissões Diárias	84
4.4	Análise de Dispersão de Poluentes.....	85
4.4.1	Comparação CORINAIR vs HBEFA	87
4.4.2	Dispersão de NO _x	89
4.4.3	Dispersão de NO ₂	91
4.4.4	Dispersão de PM ₁₀	93
4.4.5	Comparação Valores Medidos vs Valores Calculados.....	94
4.4.6	Avaliação da Qualidade do Ar	97
5.	Conclusões	101
	Bibliografia.....	103
	Anexos.....	107

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Índice de Figuras

Figura 1.1 – Impacto das emissões dos MCI sobre o meio ambiente, Allister et al. (2011).	2
Figura 2.1 – Esquema representativo dos poluentes primário e secundários, Agência Portuguesa do Ambiente (2011).	5
Figura 2.2 – Variação da concentração de CO, HC e NO _x em função da relação de equivalência, Schwerdt (2006).	11
Figura 2.3 – Representação de efeitos da exposição ao CO em humanos, Turns (2000).	12
Figura 2.4 – Fendas e outras fontes de emissão de HC, Guzzella and Onder (2010).	13
Figura 2.5 – Produção anual de carros, camiões e autocarros no mundo, Princiotta (2011).	15
Figura 2.6 – Evolução de controlo das emissões de poluentes atmosférico emitido através dos transportes rodoviários nos países membros da AEA entre 1990-2007, TERM (2009).	24
Figura 2.7 – Representação dos dois principais tipos de filtros de partículas, à esquerda filtro fechado e à direita filtro aberto, MECA (2011).	27
Figura 2.8 – Exemplo de um filtro de partícula fechado – <i>wall-flow</i> , MECA (2011).	28
Figura 2.9 – Filtro de partícula aberto - Partial-Flow, Dieselretrofit (2011).	30
Figura 2.10 – Catalisador de duas vias (em cima), catalisador de três vias (em baixo), MECA (2011).	31
Figura 2.11 – Representação de um catalisador de três vias (TWC).	32
Figura 2.12 – Desempenho de um catalisador de três vias, NeTT (2011).	33
Figura 2.13 – Diagrama de um catalisador de oxidação Diesel, MECA (2009).	35
Figura 2.14 – Representação esquemática de um sistema SCR	36
Figura 2.15 – Representação esquemática de um sistema LNT, (a) sistema pobre, (b) sistema enriquecido, Bosteels and Searles (2002).	38

Figura 3.1 – Fotografia aérea com a imagem da Avenida Heróis de Angola em pormenor, Google maps (2011).....	41
Figura 3.2 – Fotografia da estação meteorológica instalada (esquerda), do medidor de CO ₂ (direita superior) e do medidor de partículas (direita inferior).....	42
Figura 3.3 – Fotografia do tripé da máquina de filmagem, com a máquina em posição (esquerda) e vista da perspectiva visível nas filmagens (direita).	45
Figura 3.4 – Excerto da folha de campo utilizada (veículos ligeiros).....	46
Figura 3.5 – Excerto da folha de campo utilizada (veículos pesados de passageiros).	47
Figura 3.6 – Excerto da folha de análise (veículos Ligeiros).....	48
Figura 3.7 – Excerto da folha de cálculo utilizada para ponderar o fluxo horário.....	49
Figura 3.8 – Fluxograma da escolha das camadas, adaptado para português, Ntziachristos and Samaras (2009).....	52
Figura 3.9 – Fluxograma da aplicação da metodologia base, adaptado para português, Ntziachristos and Samaras (2009).....	55
Figura 3.10 – Representação de Modelo de partículas de Lagrangeano, DataKustik (2010).	59
Figura 3.11 – Fluxograma representativo da sequência de cálculo do <i>programa</i> COPERT.	64
Figura 3.12 – Janela com os resultados do <i>programa</i> COPERT.	66
Figura 3.13 – Excerto da folha de cálculo onde foi feita a correcção das emissões.	67
Figura 3.14 – Identificação da zona de estudo, imagem 3D do CadnaA-APL.	69
Figura 3.15 – Janela para repartição dos períodos do dia.	70
Figura 3.16 – Janela para introduzir número de veículos por hora e percentagem do veículos pesados.	71
Figura 3.17 – Janela para introduzir os parâmetros de emissão de poluentes.....	72
Figura 3.18 – Ficheiro dos ventos para o dia 25 de Novembro de 2010.....	73
Figura 3.19 – Representação de dispersão dos poluentes com ventos na direcção sul (parte superior) e oeste (parte inferior).....	74

Figura 3.20 – Representação de dispersão dos poluentes com ficheiro meteorológico utilizado no presente estudo, considerando a influência do edifício (à esquerda) e sem considerar a influência do edifício (à direita).....	75
Figura 3.21 – Identificação da área de cálculo.	76
Figura 3.22 – Janela de configuração de poluentes	77
Figura 4.1 – Representação gráfica da evolução diária do tráfego automóvel dos 5 dias da semana analisados.....	80
Figura 4.2 – Representação do gráfico acumulativo de área para análise da quantidade de veículos de cada norma Euro, para a classe de veículos a gasolina com cilindrada menor do que 1400 cm ³	81
Figura 4.3 – Representação do gráfico acumulativo de área para análise da quantidade de veículos de cada norma, para a classe de veículos Diesel com cilindrada menor do que 2.0l	82
Figura 4.4 – Representação gráfica da comparação de total de emissões de vários poluentes em função da percentagem de veículos a circular após arranque a frio.	84
Figura 4.5 – Representação gráfica da comparação de total das emissões diárias.....	85
Figura 4.6 – Fotografia do Google maps, sinalizando o local onde se encontravam os equipamentos de medição com o ponto a verde.	86
Figura 4.7 – Fotografia do mapa do CadnaA, sinalizando o local onde se encontravam os equipamentos de medição com o ponto a verde.	87
Figura 4.8 – Representação gráfica de níveis de emissão de CORINAIR (à esquerda) e HBEFA (à direita) e evolução do tráfego para sexta-feira (parte inferior)	88
Figura 4.9 – Representação dos resultados de dispersão de NO _x utilizando níveis de emissão HBEFA, incluindo a influência dos edifícios.....	89
Figura 4.10 – Representação dos resultados de dispersão de NO _x utilizando níveis de emissão HBEFA, sem incluir a influência dos edifícios.	90
Figura 4.11 – Representação dos resultados de dispersão de NO _x utilizando os níveis de emissão de CORINAIR, incluindo a influência dos edifícios.	91
Figura 4.12 – Representação dos resultados de dispersão de NO ₂ utilizando níveis de emissão HBEFA, incluindo a influência dos edifícios.....	92

Figura 4.13 – Representação dos resultados de dispersão de NO ₂ utilizando os níveis de emissão de CORINAIR, incluindo a influência dos edifícios.....	92
Figura 4.14 – Representação dos resultados de dispersão de PM ₁₀ utilizando níveis de emissão HBEFA, incluindo a influência dos edifícios.....	93
Figura 4.15 – Representação dos resultados de dispersão de PM ₁₀ utilizando os níveis de emissão de CORINAIR, incluindo a influência dos edifícios.....	94
Figura 4.16 – Representação gráfica dos valores médios de concentração dos vários poluentes para diferentes situações, valores medidos e valores calculados.	95
Figura 4.17 – Representação gráfica dos valores médios de concentração dos vários poluentes para diferentes situações, valores medidos e valores calculados mais os valores de fundo rural.	97

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Poluentes, principais fontes de poluição e seus efeitos na saúde humana.....	6
Tabela 2.2 – Acordo de Luxemburgo (Directiva 88/76/CEE), EURlex (2011).	17
Tabela 2.3 – Normas de emissão da União Europeia para Veículos Ligeiros, DieselNet (2011).	18
Tabela 2.4 – Normas de emissão da União Europeia para Veículos Pesados, Martins (2008).	19
Tabela 2.5 – Valores limite de poluentes para protecção de saúde humana na Europa e em Portugal, Decreto-Lei n.º 102/2010.	21
Tabela 2.6 – Classificação do Índice de Qualidade do Ar, nacional, proposto para o ano 2011, QualAr (2011).	23
Tabela 3.1 – Indicação dos horários e dias onde foram recolhidas as amostragens.....	44
Tabela 3.2 – Representação da ponderação.....	49
Tabela 3.3 – Estrutura de um registo no formato AKT, AUSTAL2000 (2009).....	62
Tabela 4.1 – Valores médios correspondente ao fundo rural, obtidos através da estação de Ervedeira, QualAr (2011).....	95
Tabela 4.2 – Valores da média diária dos poluentes NO ₂ e PM ₁₀	98

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Nomenclatura

Lista de Siglas

A/F	Relação ar-combustível, adimensional
cm^3	Centímetro (s) cúbicos
E	Emissões totais de qualquer poluente, [g]
e	Factor de emissão, factor de correcção do cálculo, [g/km]
$E_{\text{AUTO-ESTRADA}}$	Emissões totais, de qualquer poluente, na situação de condução em auto-estrada, [g]
$E_{\text{COLD}; i, k}$	Emissão em arranque a frio do poluente i , produzido por veículos da tecnologia k , [g]
$e^{\text{COLD}}/e^{\text{HOT}} _i$	Quociente das emissões em arranque a frio e a quente para o poluente i , referente aos veículos da tecnologia k , adimensional
E_{FRIO}	Emissões a “frio” [g]
$E_{\text{HOT}; i, k, r}$	Emissão a quente do poluente i , produzido no período em causa, por veículos da tecnologia k , que transitaram por estradas do tipo r , [g]
$e_{\text{HOT}; i, k, r}$	Factor de emissão para o poluente i , referente aos veículos da tecnologia k , que transitaram por estradas do tipo r , [g/km]
E_{RURAL}	Emissões totais, de qualquer poluente, na situação de condução em zonas rurais, [g]
E_{TOTAL}	Emissões totais [g]
E_{URBANO}	Emissões totais, de qualquer poluente, na situação de condução em zonas urbanas, [g];
E_{QUENTE}	Emissões a "quente" [g]
f_p	Factor de percentagem do número de veículos a circularem em arranque a frio, [%];

G	Grama (s)
g/km	Grama por quilometro
km/h	Quilometro (s) por hora
$l_{veículo}$	Distância percorrida por veículo, a distância percorrida pelo total de veículos a dividir pelo número total de veículos, [km]
$M_{k,r}$	Distância percorrida por veículo, percorrida nas estradas do tipo r por veículos da tecnologia k, [km]
min	Minuto (s)
mm	Milímetro (s)
m/s	Metros por segundo
m^3	Metro (s) cúbico
N	Número total de veículos em estudo
N_k	Número de veículos da tecnologia k em operação durante o período em causa
X	Hora da medição, [horas]
Y	Número de veículos
$\beta_{i,k}$	Fracção da distância percorrida por veículos com o motor em arranque a frio ou com o catalisador a operar a temperaturas abaixo do recomendado, para o poluente i, com a tecnologia k, adimensional
ϕ	Coefficiente de riqueza da mistura
μg	Micrograma(s)
α	Coefficiente de expansão do combustível [K^{-1}]
λ	Lambda, adimensional
λ_{equi}	Lambda equivalente, adimensional
$^{\circ}C$	Grau (s) Célsius
$\%$	Percentagem

Abreviaturas

AEA	Agência Europeia de Ambiente
AECC	<i>Association for Emissions Control by Catalyst</i>
CadnaA-	<i>Computer Aided Noise Abatement - Air Pollution</i>
APL	
CBD	<i>Central Business district</i>

CEC	<i>Commission of the European Communities</i> (comissão de países europeus)
CEE	Comunidade Económica Europeia
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
COPERT	<i>COmputer Programme to calculate Emissions from Road Transport</i>
CORINAIR	<i>CORe INventory of AIR emissions</i>
DOC	<i>Diesel Oxidation Catalysts</i> (catalisadores de oxidação Diesel)
DPF	<i>Diesel Particulate Filter</i> (filtro de partículas Diesel)
DWD	Deutscher Wetterdienst, na literatura Alemã
ECE	<i>Economic Commission for Europe</i> (Comissão Económica para a Europa)
EGR	<i>Exhaust Gas Recirculation</i> (recirculação de gases de escape)
ESC	<i>European Stationary Cycle</i>
ETC	<i>European Transient Cycle</i>
EUDC	<i>Extra Urban Driving Cycle</i>
GNC	Gás Natural Comprimido
GPL	Gás de Petróleo Liquefeito
GHG	<i>Green House Gases</i> (Gases de efeito de estufa)
HBEFA	<i>Handbook emission factors for road transport,</i>
HC	Hidrocarbonetos
H ₂	Hidrogénio
H ₂ O	Água
IQar	Índice de Qualidade do Ar
LEZ	<i>Low Emissions Zone</i> (zonas de baixa emissão de poluentes)
LNT	<i>Lean NOx Traps</i>
MECA	<i>Manufacturers of Emission Controls Association</i>
MCI	Motores de Combustão Interna
NEDC	New European Driving Cycle
NO _x	Óxido de azoto
NO ₂	Dióxido de azoto
N ₂ O	Dinitrogénio
N ₂ O ₄	Tetroxido de dinitrogénio

N ₂ O ₅	Pentóxido de dinitrogénio
OBD	<i>On-Board Diagnostic</i>
OH	Radical hidroxilo
O ₃	Ozono troposférico
PM	<i>Particulate Matter</i> (Partículas)
PME	Pressão Média Efectiva
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i> (Sociedade de Engenheiros Automóveis)
SCR	<i>Selective Catalytic Reduction</i> (Redução Catalítica Selectiva)
SO ₂	Dióxido de enxofre
TWC	<i>Three-way catalysts</i> (Catalisador de três vias)
ZER	Zona de Emissões Reduzidas

1. Introdução

1.1 Contexto e Motivação

A industrialização e o aumento do número de veículos automóveis têm contribuído significativamente para o aumento da emissão de poluentes, o que por sua vez reduz consideravelmente a capacidade de regeneração da atmosfera. O impacto sobre as emissões é um elemento fundamental na avaliação de qualquer política ou plano de transporte.

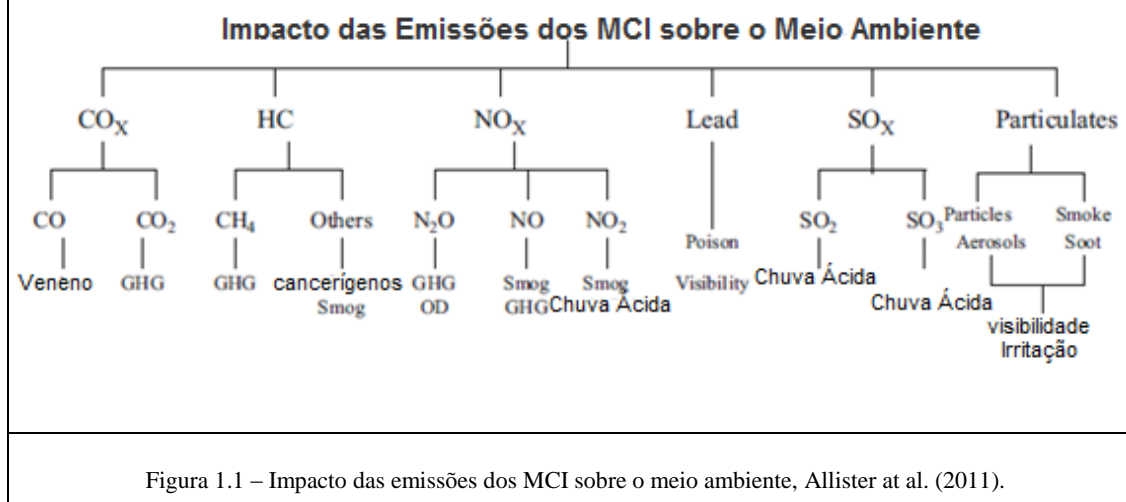
O ar é um dos elementos que mais tem sido agredido pelo homem. A poluição do ar (poluição atmosférica) tem sido, desde a primeira metade do século XX, um grave problema nos centros urbanos, isto deve-se essencialmente à presença de cada vez mais automóveis, Rocha et al. (2006).

O problema do elevado número de veículos nas cidades é um desafio que os governos vêm enfrentando ao longo das últimas décadas. Nesse sentido, cada país, cada cidade, tem procurado definir soluções específicas para a criação de um ambiente urbano que propicie uma melhor qualidade de vida para as suas populações. Os problemas ambientais, a limitação de recursos e o impacto na qualidade de vida das pessoas, forçaram a busca de soluções criativas e estáveis para a adequação dos numerosos fluxos de veículos e congestionamentos de trânsito. A Figura 1.1 mostra um resumo do impacto das emissões dos MCI (Motores de Combustão Interna) sobre o meio ambiente.

Tal como é referido em TERM (2009), em 1976, a comissão de países europeus (*Commission of the European Communities - CEC*, na literatura Inglesa), estabeleceu padrões de qualidade do ar para o dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de azoto (NO₂), PM (*Particulate Matter*, na literatura Inglesa) e oxidantes fotoquímicos. Esses padrões têm vindo a ser cada vez mais restritivos ao longo dos anos.

GHG – Gases de efeito de estufa, *Green House Gases*, na literatura Inglesa.

OD – Destruição do ozônio, *Ozone Depletion*, na literatura Inglesa



No início da década de 90, no sentido de reduzir a emissão dos principais poluentes, surgiram as normas europeias que classificam as emissões de poluentes nocivos dos veículos (ver secção 2.4). Essas normas garantem que em cada 4-5 anos, os novos veículos produzidos reduzem a emissão de poluentes nocivos.

Segundo TERM (2009), no ano 2007, nos países membros da Agência Europeia de Ambiente (AEA) o transporte rodoviário foi o que mais contribuiu para as emissões de óxido de azoto (NO_x), e o segundo maior contribuinte para a emissão de partículas (PM). De modo a reduzir ainda mais emissão de poluentes e cumprir com a legislação em vigor foram criadas zonas de baixa emissão de poluentes (LEZ - Low Emissions Zones, na literatura Inglesa) em várias cidades da Europa (exemplo: Berlim, Londres, Colónia, Estocolmo, etc.), LEZ (2011).

As LEZ promovem a redução da poluição proveniente do trânsito ao evitar que veículos pesados e ligeiros certificados segundo as primeiras normas Euro (Euro I, Euro II, Euro III) não circulem no interior das cidades. A redução da poluição proveniente do trânsito contribui para melhorar a saúde pública e a qualidade de vida das pessoas que vivem, trabalham ou visitam uma determinada zona, Transport for London (2008).

1.2 Objectivos

O presente trabalho tem como objectivo principal o estudo do impacto do tráfego rodoviário na poluição atmosférica de um centro urbano a partir da análise da emissão e dispersão de poluentes proveniente dos veículos automóveis.

Assim os objectivos específicos do presente estudo são:

- Caracterizar a fonte de poluição em estudo - Volume de tráfego, velocidade média, ano de fabrico, tipo de combustível, cilindrada;
- Calcular as principais emissões de poluentes provenientes dos veículos automóveis, com auxílio do programa de cálculo de emissão de poluentes atmosférico emitidos pelos transportes rodoviários, – COPERT (*COmputer Programme to calculate Emissions from Road Transport*, na literatura Inglesa) – e identificar os níveis máximos para cada um desses poluentes;
- Gerar mapas de dispersão de poluentes proveniente dos veículos automóveis, utilizando o programa de cálculo de dispersão de poluentes atmosférico – CadnaA-APL (Computer Aided Noise Abatement - Air Pollution, na literatura Inglesa).
- Aferir os valores calculados com base em valores medidos e valores de fundo obtidos numa estação de medição de referência (Ervideira)

1.3 Organização do Documento

De modo a cumprir com os objectivos propostos, o presente estudo encontra-se dividido em 5 capítulos, cada capítulo é dividido em vários subcapítulos, conforme detalhada a seguir:

1º Capítulo – Introdução: Neste capítulo, este, é descrito o contexto e a motivação desse trabalho, assim como o objectivo e a estrutura da organização do trabalho.

2º Capítulo – Revisão Bibliográfica: Neste capítulo é descrita toda a base teórica e científica necessária para o desenvolvimento dos objectivos desse trabalho. São apresentados

conceitos como: tipo de poluentes existente; os principais poluentes emitidos pelo automóvel; as normas Europeias de emissão de poluentes aplicadas a veículos automóveis; as normas da qualidade de ar europeia e portuguesa; zonas de baixa emissão de poluentes e; as alternativas a veículos que não cumprem “euro standard”.

3º Capítulo – Métodos: Neste capítulo é caracterizado o local que se escolheu para exemplo – Centro urbano de Leiria. São descritos os modelos de cálculos utilizados no presente estudo: CORINAIR e HPBFA - usados para a modelação da emissão de poluentes provenientes do tráfego rodoviário; AUSTAL2000 - usado para a modelação da dispersão desses poluentes. Por fim é feita uma descrição geral dos passos necessários para a caracterização do tráfego na Avenida Heróis de Angola, bem como os procedimentos de cálculos de emissão e dispersão de poluentes atmosférico.

4º Capítulo – Apresentação e Análise dos Resultados: Neste capítulo são apresentados e analisados os resultados obtidos no presente trabalho.

5º Capítulo – Conclusão: Neste capítulo são descritas as conclusões do presente estudo.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Introdução

No presente capítulo é apresentado a base teórica e científica necessária para a compreensão e desenvolvimento do presente trabalho. São apresentados conceitos como: tipo de poluentes existente; os principais poluentes emitidos pelo automóvel; as normas Europeias de emissão de poluentes aplicadas a veículos automóveis; as normas da qualidade de ar europeia e portuguesa; zonas de baixa emissão de poluentes; bem como as alternativas a veículos que não cumprem “euro standard”.

2.2 Poluentes na Atmosfera

Actualmente são inúmeros os poluentes emitidos para a atmosfera, sendo as fontes que os originam muito diversificadas (ex: veículos motorizados, fábricas, centrais termoeléctricas, incêndios florestais, etc.). Os poluentes são normalmente classificados em duas classes: i) poluentes primários; ii) poluentes secundários. A Figura 2.1 mostra um esquema representativo dos dois tipos de poluentes.

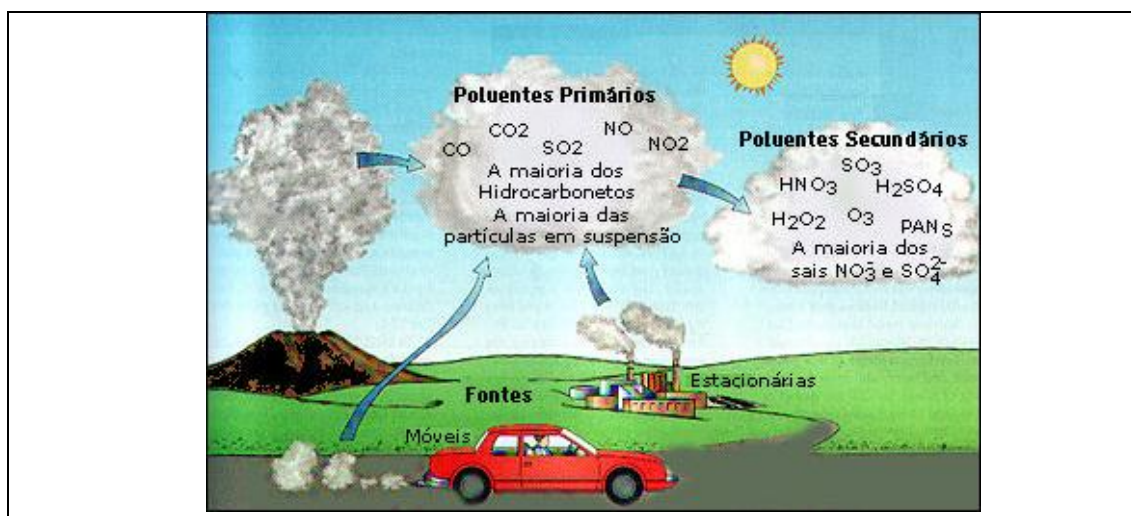


Figura 2.1 – Esquema representativo dos poluentes primário e secundários, Agência Portuguesa do Ambiente (2011).

A Tabela 2.1 resume os poluentes mais comuns, bem como as principais fontes e os efeitos na saúde humana.

Poluentes	Fontes	Efeitos na Saúde Humana
Monóxido de carbono	Tráfego (especialmente veículos sem catalisador); Indústrias.	É mortal em doses elevadas. Os principais problemas de saúde são sentidos no sistema cardiovascular e nervoso especialmente em indivíduos com problemas coronários. Em concentrações mais elevadas pode causar tonturas, dores de cabeça e fadiga.
Óxidos de azoto	Tráfego; Indústrias em geral (resulta da queima de combustíveis a temperaturas mais ou menos elevadas).	Exposições críticas ou por tempo prolongado, originam dores de garganta, tosse, falta de ar, enfisema e alergias.
Óxidos de Enxofre	Sector industrial (indústria química, pasta de papel, refinarias e caldeiras que utilizem combustível com alto teor de enxofre, por exemplo, o fuelóleo).	Altas concentrações de SO ₂ podem provocar problemas no tracto respiratório, com especial incidência em grupos sensíveis como asmáticos.
Partículas	Tráfego Indústrias (cimenteiras, refinarias, siderurgias, pasta de papel, indústria química, entre outras); Obras de construção civil; Práticas agrícolas.	São um dos principais poluentes com efeitos directos na saúde humana, especialmente no caso de partículas finas. Inaladas, penetram no sistema respiratório causando sérios danos. São responsáveis pelo aumento de doenças respiratórias como a bronquite asmática.
Chumbo	Tráfego (combustíveis com chumbo); Indústrias (processo de fabrico com matérias primas que integrem o chumbo).	Causa danos no sistema nervoso, originando convulsões, e no caso de crianças, potencia uma redução das capacidades de aprendizagem. Afecta ainda o sistema renal, circulatório e reprodutor.
Compostos Orgânicos Voláteis	Indústria Química; Tráfego; Armazenamento do Combustíveis e Gasolineiras; Oficinas de automóveis, Tinturarias, e outras actividades que envolvam manuseamento de solventes	Estes compostos podem causar irritação da membrana mucosa, conjuntivite, danos na pele e nos canais respiratórios superiores independentemente de estarem no estado gasoso, assim como spray ou aerossol. Em contacto com a pele podem causar pele sensível e enrugada, e quando ingeridos ou inalados em quantidades elevadas causam lesões no esófago, traqueia, trato gastrointestinal, vómitos, perda de consciência e desmaios.
Ozono Troposférico	Forma-se, ao nível do solo, como resultado de reacções químicas que se estabelecem entre alguns poluentes primários, tais como os óxidos de azoto, os compostos orgânicos voláteis (COV) ou o monóxido de carbono. Estas reacções dão-se na presença de luz solar, pelo que os níveis de ozono mais elevados ocorrem durante o Verão.	Provoca irritação das vias respiratórias, tosse e dor quando se procede a uma inspiração profunda, diminui a capacidade respiratória ao realizar actividades físicas ao ar livre, agravamento de asma assim como um aumento da susceptibilidade a doenças respiratórias como pneumonias, bronquites e lesões pulmonares que se podem tornar permanentes em casos de exposições prolongadas ou repetidas. Ao nível da pele, provoca inflamações, similares a queimaduras solares.

Tabela 2.1 – Poluentes, principais fontes de poluição e seus efeitos na saúde humana.

Poluentes primários

Poluentes primários são aqueles que são emitidos directamente por fontes identificáveis (ver Figura 2.1), não sofrendo nenhum processo físico ou químico de transformação no meio receptor (por exemplo, os gases que provêm do tubo de escape de um veículo automóvel (CO, HC, NO_x, PM, SO_x) ou da chaminé de uma fábrica), Instituto Camões (2011).

Poluentes secundários

Poluentes secundários são os resultantes de processos físicos ou químicos de transformação de poluentes primários e de outras substâncias, ocorridos no meio receptor (como por exemplo, o ozono troposférico – O₃ – que resulta da oxidação fotoquímica de poluentes como os NO_x gerados nos processos de combustão em diversas indústrias e principalmente pelo tráfego automóvel), Instituto Camões (2011). O ozono formado desta forma designa-se como ozono de superfície ou troposférico ou ainda ozónio e não deve ser confundido com o ozono presente na estratosfera que tem um papel vital na filtragem dos raios ultravioletas prejudiciais provenientes do sol.

Os poluentes primários e secundários afectam o meio ambiente e a saúde pública de várias formas. Turns (2000) indica quatro principais efeitos dos poluentes atmosféricos na troposfera:

1. Alteram as propriedades da atmosfera e da precipitação.
2. Provocam danos na vegetação.
3. Provocam sujidade e deterioração dos materiais.
4. Aumentam o potencial de morbilidade (doença) e mortalidade em humanos.

A alteração das propriedades da atmosfera que afectam áreas locais incluem visibilidade reduzida (resulta da presença de carbono baseado nas partículas, sulfatos, nitratos, compostos orgânicos, e dióxido de nitrogénio); aumento da formação de nevoeiro e precipitação (resulta de altas concentrações de SO₂ que formam gotículas ácidas que servem como núcleos de condensação); radiação solar reduzida; alteração da temperatura e distribuições do vento. Além disso, a chuva ácida, produzida a partir de SO_x, e das emissões de NO_x, afecta lagos e solos susceptíveis.

A vegetação é prejudicada pelas substâncias que prejudicam as plantas, tais como; SO_2 , nitrato peroxiacetil (PAN), C_2H_4 , e outros. Essas substâncias destroem a clorofila e interrompem a fotossíntese.

As partículas nas roupas, nos solos, nos edifícios e em outras estruturas, criam não só uma má qualidade estética, mas também custos adicionais de limpeza sobre a poluição ambiental. As partículas ácidas e alcalinas, em particular aqueles que contêm enxofre corroem alvenaria, pintura, fios elétricos e têxteis.

As PMs são um dos principais poluentes com efeitos directos na saúde humana, especialmente no caso de partículas finas. Estes quando inaladas, penetram no sistema respiratório causando sérios danos. São responsáveis pelo aumento de doenças respiratórias como a bronquite asmática.

Devido à dificuldade na realização de testes com seres humanos, e ao grande número de variáveis não controladas, existe controvérsia na avaliação dos efeitos da poluição sobre a saúde humana. No entanto, é generalizadamente aceite que os poluentes podem agravar doenças respiratórias pré-existentes. A ocorrência de bronquite aguda e crónica, bem como o enfisema, podem ser correlacionados com SO_2 e partículas. Os famosos episódios de poluição de ar nos Estados Unidos, Estado de Pensilvânia, cidade de Donora (1948), Londres (1952), e Nova York (1966), resultaram em muitas mortes e outros efeitos na saúde. Segundo Turns (2000) foi provado que esses episódios foram consequências simultaneamente dos níveis elevados de SO_2 e partículas. Os poluentes secundários (ozónio, nitratos orgânicos, hidrocarbonetos oxigenados, e aerossol fotoquímicos) são formados principalmente pelas reacções entre óxido nítrico e vários hidrocarbonetos. Além disso, as partículas à base de carbono podem conter substâncias cancerígenas adsorvido. A Tabela 2.1 mostra alguns efeitos na saúde humana.

2.3 Poluentes Emitidos Pelos Veículos Automóveis

Os combustíveis, (gasolina, Diesel, gás natural comprimido – GNC, Gás de petróleo Liquefeito – GPL), são compostos por hidrocarbonetos (HC), AECC (2011). Os HC podem ser constituídos por moléculas pequenas e simples (como o metano, o principal componente do gás natural) ou moléculas grandes e complexas, como o Diesel. Nos MCI Diesel a

formação de partículas (PM) é particularmente importante. As partículas são principalmente constituídas por fuligem com hidrocarbonetos voláteis e alguns resíduos de sulfato metálicos do combustível e do lubrificante do motor.

A combustão de gasolina ou Diesel em oxigénio puro seria produzido apenas dióxido de carbono (CO₂), vapor de água (H₂O) e energia, ou seja, teríamos uma combustão ideal. Todavia, nunca é possível ter uma combustão ideal, nos motores a gasolina e Diesel, há sempre algumas emissões de combustível não queimado (HC - hidrocarbonetos) e/ou parcialmente queimado juntamente com óxidos de azoto (NO_x), monóxido de carbono (CO), EPA (2001).

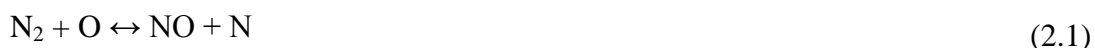
Os processos da formação destes poluentes serão apresentados de seguida:

2.3.1 *Óxido de Azoto (NO_x)*

O NO_x geralmente inclui o óxido de azoto (NO) e dióxido de azoto (NO₂), mas também pode incluir vários outros óxidos de azoto, como óxido de dinitrogénio (N₂O), tetroxide de dinitrogénio (N₂O₄) e pentóxido de dinitrogénio (N₂O₅). O NO é normalmente dominante seguindo-se por uma quantidade muito menor de NO₂. Os restantes óxidos de azoto formam-se normalmente em quantidades residuais. Existem três mecanismos principais que estão na origem da formação de NO_x, Schwerdt (2006), Turns (2000), Santos (2010): i) formação de NO_x térmico; ii) formação de NO_x do combustível e; iii) formação de NO_x imediato.

Formação de NO_x Térmico (Mecanismo de Zeldovich)

A formação de NO_x térmico forma-se quando o azoto (N₂) reage com o oxigénio (O₂), para produzir NO_x. A formação requer temperaturas muito elevadas, sendo a formação de NO_x térmico exponencialmente dependente da temperatura. Um factor importante na formação de NO_x térmico é o tempo de residência a temperaturas elevadas. A turbulência e a quantidade de oxigénio em excesso são outros factores importantes no processo de formação de NO_x. Este processo é regido essencialmente pelas reacções, Schwerdt (2006), Santos (2010):



As reacções (2.1, 2.2 e 2.3) em conjunto formam o denominado mecanismo de Zeldovich. A forte ligação tripla na molécula N_2 requer elevada temperatura para quebrar a ligação, portanto, a equação de 2.1 determina a taxa de formação de NO_x térmico.

Formação de NO_x do Combustível (Mecanismo do Combustível)

A formação de NO_x do combustível é um processo em que o azoto no combustível reage (oxida) com o oxigénio para formar NO_x . Tanto a gasolina como o Diesel tem uma quantidade muito reduzida de azoto na sua composição, por isso a contribuição deste mecanismo para a formação de NO_x é reduzida

Formação de NO_x Imediato (Mecanismo de Fenimore)

A rápida formação de NO_x é o último processo que descreve a formação de NO_x . Neste processo, são produzidos durante a combustão os radicais de hidrocarbonetos. Estes radicais reagem rapidamente com o azoto para formar substâncias de transição (ex: HCN) que, em seguida, formam NO_x quando eles reagem com o oxigénio. A seguinte equação é o primeiro passo no processo:



A substância de transição, HCN, é convertida em átomo de azoto através de uma sequência de passos:



A reacção de maior temperatura também contribui para a quebra da ligação de N_2 .

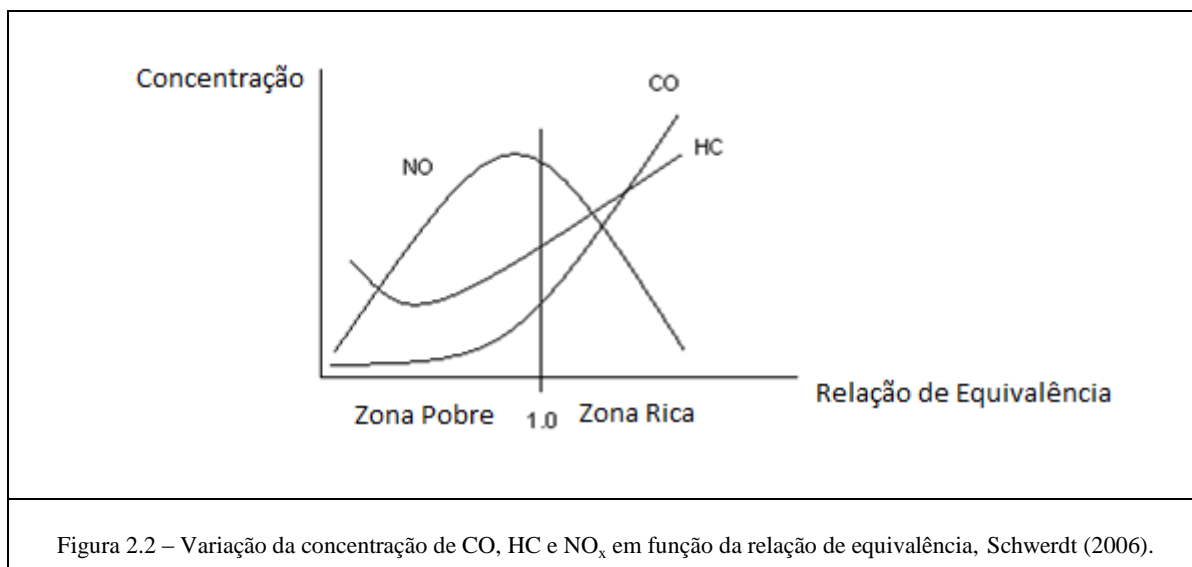


Os átomos de azoto a partir destas equações são então oxidados para formar NO. Este processo verifica-se geralmente em temperaturas relativamente baixas no início do processo de combustão e só é relevante no processo da combustão muito rico, Schwerdt (2006).

Modelo de Formação de NO_x

A concentração de NO_x nos gases de escape de um motor varia muito com a relação de equivalência (relação ar combustível – AFR, Air Fuel Ratio, na literatura Inglesa). A

Figura 2.2 mostra que a concentração de NO_x atinge um máximo ligeiramente em condições de mistura pobre.



A Figura 2.2 revela que na região da mistura pobre onde se tem o mínimo das concentrações de NO_x e CO as concentrações de HC são elevadas. Quando se tem um mínimo HC e CO relativamente pequeno, o NO_x tem um máximo.

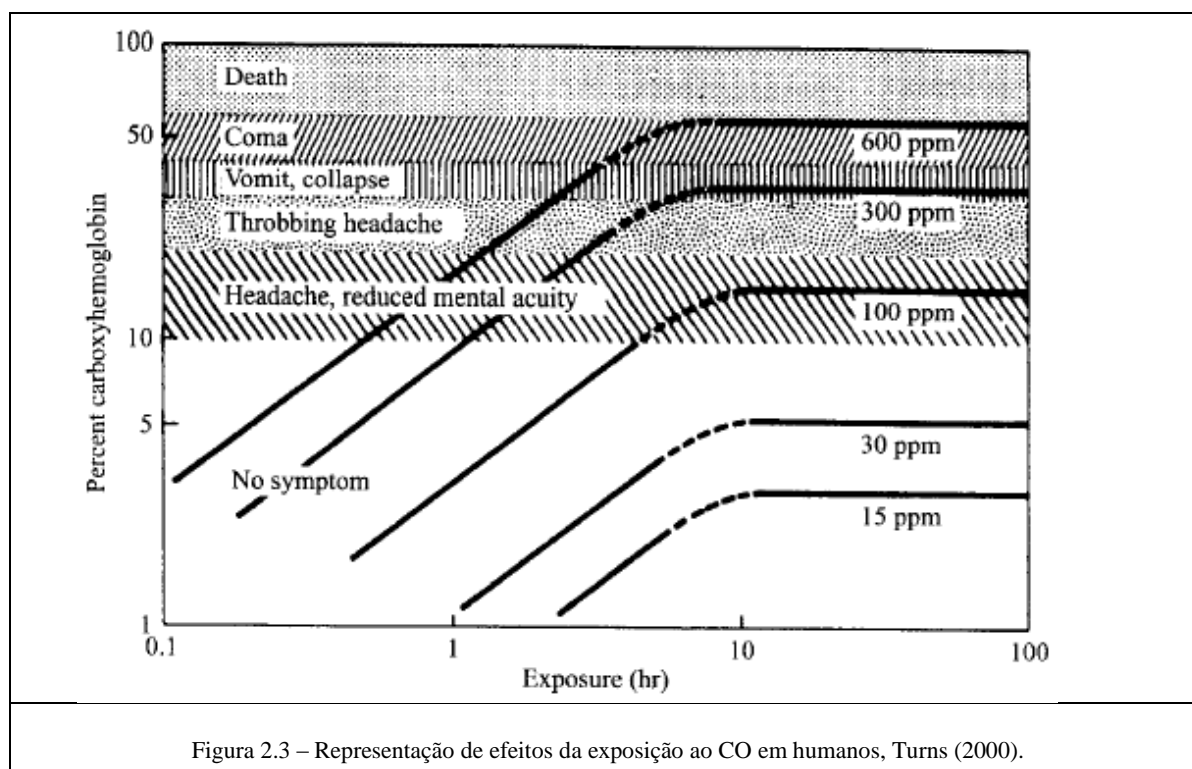
O NO é inodoro e incolor. Os NO_x são gases de efeito estufa, contribuem para a formação do *smog* fotoquímico devido à sua reacção com alguns grupos de hidrocarbonetos. O NO_x é irritante para as vias respiratórias humanas e pode ser tóxico. Mesmo em concentrações reduzidas causam irritação pulmonar, dano no tecido e irritação das mucosas. O processo de oxidação secundária do óxido de azoto provoca forma de chuva ácida. A formação de ozono troposférico ocorre como resultado de uma reacção química entre HC e NO_x e a luz solar. Quando as massas de ar permanecem estagnadas em áreas urbanas, os poluentes são mantidos no lugar por longos períodos de tempo. A luz solar interage com esses poluentes, transformando-os em ozônio troposférico. O ozônio é um dos principais componentes do *smog*, Santos (2010).

2.3.2 Monóxido de Carbono (CO)

A formação de CO é preponderante para misturas ricas, aumentando linearmente com a razão de equivalência (ver Figura 2.2). Em condições normais de operação da maioria dos MCI, as condições ricas são geralmente evitadas. Todavia, em MCI de ignição por faísca

podem ser utilizadas misturas ricas no arranque ou em condições de cargas elevadas, Turns (2000). Para misturas estequiométricas e ligeiramente pobres, o CO forma-se como resultado da dissociação de CO₂.

O monóxido de carbono é inodoro e incolor e apresenta forte afinidade com a hemoglobina, 240 vezes superior à do oxigénio, Turns (2000). O CO combinado com a hemoglobina e forma a carboxi-hemoglobina, diminuindo a capacidade de oxigenação dos tecidos pelo sangue, produz efeitos nos sistemas nervoso central, cardiovascular, pulmonar e outros. A Figura 2.3 apresenta os efeitos sobre os seres humanos na exposição a vários níveis de CO.



A ameaça à saúde devido a exposição ao CO é mais séria para indivíduos que já sofrem de doenças cardiovasculares. Indivíduos saudáveis também são afectados, mas somente com níveis mais elevados de exposição. O elevado nível de exposição ao CO ocasiona irritação nos olhos, redução da capacidade de trabalho, redução de destreza manual e dificuldade em realizar tarefas complexas, AEA (2005).

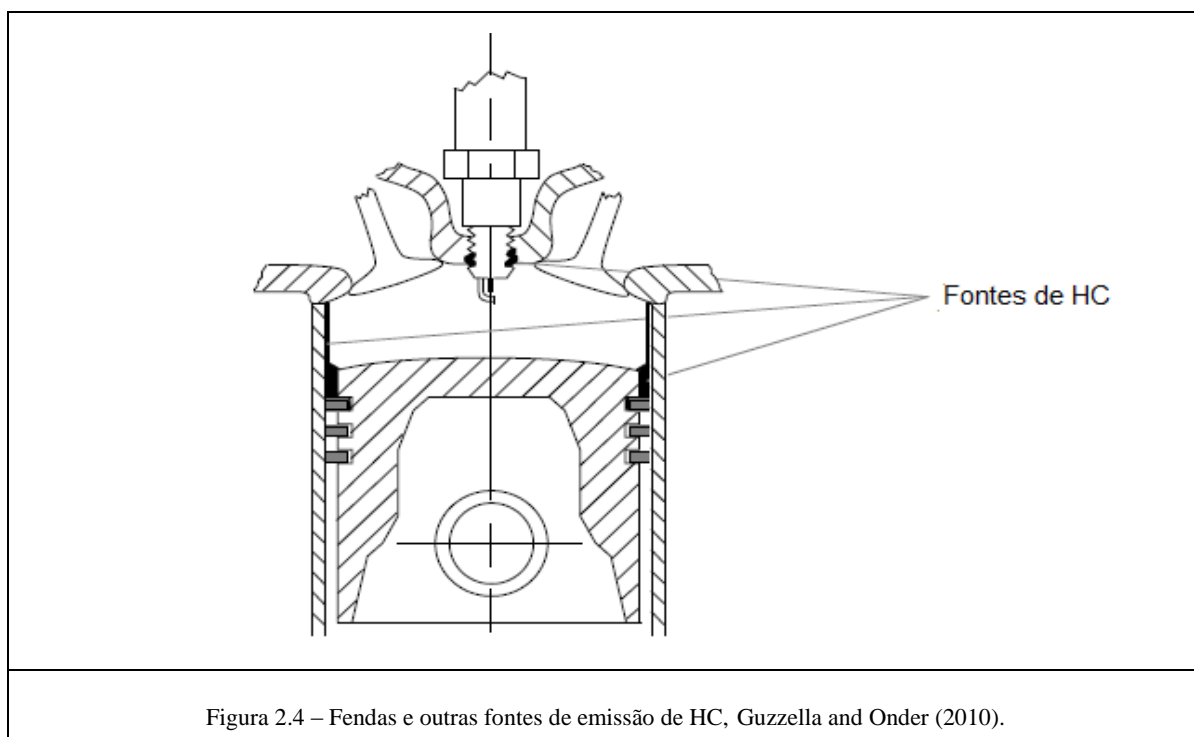
2.3.3 Hidrocarbonetos não Queimados (HC)

Os hidrocarbonetos não queimados resultam da presença de combustível não queimado ou parcialmente queimado. Alguns dos hidrocarbonetos presente no escape não são encontrados no combustível, no entanto, são hidrocarbonetos derivados de combustível cuja a estru-

tura foi alterada devido a uma reacção química, que não foi realizada, Liberman (2008). Os exemplos são formaldeído, acetaldeído, butadieno e benzeno, que são classificados como emissões tóxicas. Segundo Liberman (2008) cerca de 9% do combustível fornecido ao motor, não é queimado durante a fase de combustão normal. Contudo destes 9% apenas 2% são emitidos pelo escape devido à oxidação no interior do cilindro.

Ao contrário das emissões de CO e NO_x as emissões de HC resultam numa diminuição da eficiência térmica, Liberman (2008)

Segundo Guzzella and Onder (2010), os mecanismos principais responsáveis pelas emissões de HC em MCI são fendas (Figura 2.4). As fendas representam regiões estreitas na câmara de combustão, localizados ao redor do pistão, da junta do cabeçote, da vela de ignição e sedes de válvulas, dentro do qual a chama não pode se propagar, pois é menor do que a distância, extinguindo as camadas de óleo e de combustível líquido, extinguindo chama e vazamento na válvula de escape. Uma vez que o anel do pistão não é 100% eficaz na prevenção da penetração de óleo no cilindro acima do pistão, camadas de óleo podem aparecer dentro da câmara de combustão. Estas camadas de óleo detêm combustível e liberta-o mais tarde durante a expansão. Os constituintes do combustível menos volátil podem não vaporizar durante o aquecimento do motor e ser absorvido pelas fendas ou por depósitos de carbono.



Os hidrocarbonetos têm efeito muito significativo na saúde humana. As parafinas, as olefinas e compostos aromáticos têm importância na formação de oxidantes na atmosfera, além de causar possíveis danos à saúde. Alguns HC's do grupo dos aromáticos polinucleados estão associados ao aparecimento do câncer pulmonar, embora não haja evidência de que as concentrações dos aromáticos, existentes nas áreas urbanas, possam causar o surgimento da doença. Um outro efeito a ser considerado é o efeito narcótico, principalmente se inalado junto com o CO, o que pode induzir a dor de cabeça e sonolência.

2.3.4 *Partículas (PM)*

A alta concentração de partículas é manifestada como o fumo visível dos gases de escape. As partículas são substâncias que podem ser recolhidas através do filtro de escape (material de carbono sólido ou fuligem, hidrocarbonetos condensados e seus produtos de oxidação parcial). As PM consistem em carbono sólido nos gases de escape. O aparecimento das PM é o resultado de hidrocarbonetos não queimados na combustão. Os fabricantes de motores Diesel enfrentam o seguinte problema: uma tentativa de reduzir NO_x aumenta a quantidade de PM no escape.

Na mistura rica não há oxigênio suficiente para converter todo o carbono do combustível em dióxido de carbono, qualquer carbono não oxidado no cilindro acaba como PM no escape. Nos MCI de ignição por faísca quando devidamente ajustados, as partículas normalmente não existem. Segundo Liberman (2008) experimentalmente verifica-se que o rácio crítico de C/O para o início da formação de fuligem é entre 0,5 e 0,8.

As PM's são um dos principais poluentes com efeito directos na saúde humana, especialmente no caso de partículas finas. Estes quando inaladas, penetram no sistema respiratório causando sérios danos. São responsáveis pelo aumento de doenças respiratórias como a bronquite asmática.

Seus efeitos estão relacionados com a diminuição da qualidade de vida urbana devido às sensações desagradáveis que impressiona os sentidos, a redução de visibilidade e a interferência na operação segura nas vias.

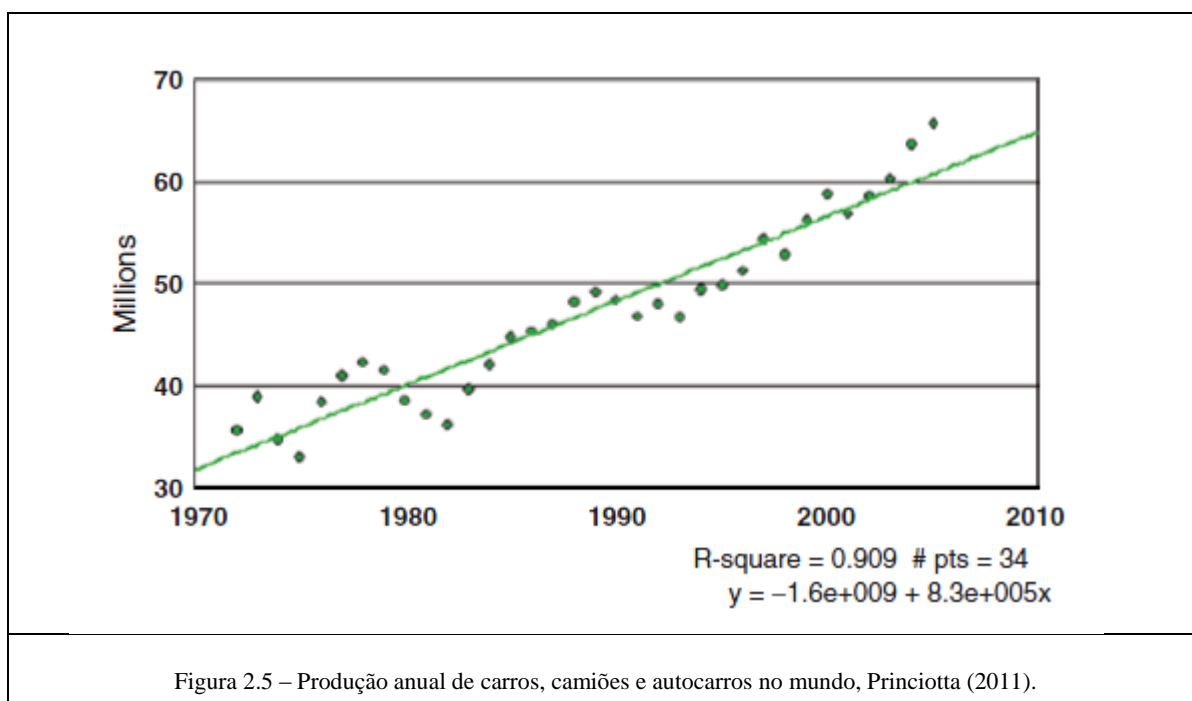
Os principais métodos utilizados para controlar as emissões de gases poluentes nos veículos automóveis incluem: i) avanços nos injectores de combustível; ii) sensores de oxigênio; iii) computadores de bordo; iv) atraso de ignição, v) válvula de recirculação de gases

de escape (EGR); vi) filtros de partículas. Este último será apresentado em detalhe na secção 2.6.1.

2.4 Normas, Directivas e Legislação Europeia/Portuguesa de Controlo da Emissão

Desde o fim da Segunda Guerra Mundial, que o número de veículos automóveis no mundo tem tido um forte crescimento. A Figura 2.5 mostra o crescimento global na produção de veículos, especialmente desde o fim da Segunda Guerra Mundial. O crescimento tem sido bastante acentuado, passando de cerca de 5 milhões de veículos para mais de 60 milhões em 2010

Os veículos trouxeram ganhos de qualidade de vida, proporcionando uma maior mobilidade, empregos, oportunidades de lazer, etc. Por outro lado, o crescimento do número de veículos também mudou muitas cidades, tornou-se a fonte dominante de poluição do ar urbano e, mais recentemente, o contribuinte de alterações climáticas de maior crescimento.



Devido ao crescimento global de veículos e consequentemente a poluição atmosférica provocado por esses veículos, os governantes começaram a preocupar em criar soluções específicas para a criação de um ambiente urbano que propicie uma melhor qualidade de vida para as suas populações.

A União Europeia e vários outros países no mundo criaram ao longo dos últimos anos legislação de controlo de poluição nos veículos que vão sendo cada vez mais restritos. De seguida são apresentadas as normas Europeia para emissão de poluentes.

2.4.1 Normas Europeia de Controlo da Emissão

De acordo com sítio da internet DieselNet (2011), a União Europeia começou-se a regulamentar as emissões de veículos ligeiros (passageiros e comerciais) desde 1970 - Directiva 70/220/CEE, Regulamento ECE-15. Esta directiva sofreu uma serie de alterações até 2004. Em 2007 esta Directiva foi revogada e substituída pelo Regulamento 715/2007 (Euro 5 / 6). Alguns desses passos são retratados de seguida:

Em 1976, a comissão dos países europeus (Commission of the European Communities-CEC, na literatura Inglesa), através da directiva 77/102/CEE, Regulamento ECE-15.02, estabeleceu padrões de qualidade do ar para o dióxido de enxofre (SO_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de azoto (NO_2), partículas (PM) e oxidantes fotoquímicos.

Posteriormente, em 1979 entraram em vigor (Directiva 78/665/CEE, Regulamento ECE-15.03) e 1984 (Directiva 83/351/CEE, Regulamento ECE-15.04). Nesta última Directiva, passou-se a utilizar a soma $\text{HC}+\text{NO}_x$ para dar aos construtores uma maior liberdade de compromisso.

Em 1988 foi implementado o acordo do Luxemburgo (Directiva 88/76/CEE, Regulamento ECE-15.05). Neste acordo foi definido que os automóveis ligeiros dividiam-se em três classes: i) pequenos (cilindrada menor do que 1400 cm^3); ii) médios (cilindrada entre 1400 e 2000 cm^3) e; iii) grandes (cilindrada maior do que 2000 cm^3). No caso dos automóveis grandes seriam sujeitos a restrições idênticas às em vigor nos Estados Unidos da América (normas US-83), sendo indispensável o uso de catalisador de três vias. A Tabela 2.2 mostra o resumo do acordo de Luxemburgo.

Cilindradas [cm ³]	Datas de Implementação	Limites de Emissão Por Teste [g]		
		CO	HC + NO _x	NO _x
>2000	1989	25	6.4	3.5
1400-2000	1993	30	8.0	–
<1400	1991	45	15	6.0

Tabela 2.2 – Acordo de Luxemburgo (Directiva 88/76/CEE), EURlex (2011).

Em 1989, a União Europeia impôs a norma euro, generalizando a utilização de sistema de controlo de emissões avançadas baseadas na utilização de catalisadores de três vias. Em 30 de Agosto de 1991 foi aprovada a Directiva 91/441/CEE (somente para automóveis de passageiros), também conhecida como CE 93, correspondente à norma Euro I. Em 1993 foi revogado pela Directiva 93/59/CEE que inclui não só automóveis de passageiros, mais também os camiões.

Em 1996 foi implementada a norma Euro II (CE 96), Directivas 94/12/CE ou 96/69/CE. Nessa altura foi, igualmente, iniciado um estudo tanto do aspecto tecnológico dos veículos como da qualidade dos combustíveis comerciais.

As normas Euro III e IV entraram em vigor no ano 2000 e 2005 respectivamente (Directiva 98/69/CE e novas alterações na Directiva 2002/80/CE). Estas normas estabelecem um maior rigor tanto no controlo dos veículos Diesel como gasolina. Algumas das alterações estabelecidas são:

- Análise dos poluentes é iniciada desde o arranque do motor;
- Obrigatoriedade da ligação OBD (para generalizar e facilitar o diagnóstico dos vários sistemas que estão ligados directa ou indirectamente à emissão);
- Teste de HC e CO a baixa temperatura (-7 °C), usando-se os primeiros 780 s do ciclo de condução actual;
- Os factores de deterioração são anulados, pelo que os veículos terão de emitir as mesmas emissões aos 80 000 km (100 000 km para o euro IV) que quando novos;

- O número de cetano mínimo de Diesel é de 51 (ano 2000), teor máximo de enxofre de Diesel é de 350 ppm (partes por milhões) em 2000 e 50 ppm em 2005, e da gasolina máxima teor de enxofre é de 150 ppm em 2000 e 50 ppm em 2005.

A norma Euro V entrou em vigor no ano 2009 e a norma Euro VI entrará em vigor no ano 2014. Essas normas são regulamentadas pelo Regulamento 715/2007 (legislação "político") e Regulamento 692/2008 (legislação "Implementado"), DieselNet (2011). Com a introdução das normas euro V e VI, a União Europeia reforça os limites de emissões poluentes aplicáveis aos veículos rodoviários ligeiros, nomeadamente no que diz respeito às emissões de PM e NO_x. O regulamento contém, igualmente, medidas relativas ao acesso à informação sobre veículos e seus componentes e à possibilidade de incentivos fiscais.

As Tabelas 2.3 e 2.4 mostram detalhadamente a evolução, ao longo dos anos, das normas de emissão de veículos da União Europeia, para veículos ligeiros e veículos pesados respectivamente (Diesel e gasolina).

Norma	Directiva	Data	Tipo	CO [g/km]	HC [g/km]	NO _x [g/km]	HC + NO _x [g/km]	PM [g/km]
Euro1	91/441/CEE	1992		2.72			0.97	0.19
Euro2	94/12/CE	1996	Gasolina Diesel	2.2 1.0			0.5 0.7	0.08
Euro3	98/69/CE	2000	Gasolina Diesel	2.3 0.64	0.2	0.15 0.5	0.56	0.05
Euro4	98/69/CE	2005	Gasolina Diesel	1.0 0.5	0.1	0.08 0.25	0.3	0.025
Euro5	EC 715/2007	2009	Gasolina Diesel	1.0 0.5	0.1	0.06 0.18	0.23	0.005* 0.005
Euro6** (futuro)	EC 715/2007	2014	Gasolina Diesel	1.0 0.5	0.1	0.06 0.08	0.17	0.005* 0.005

* Apenas aplicável a veículos de injeção directa de gasolina.
 ** Norma futura, valores podem estar sujeitos a alteração.

Tabela 2.3 – Normas de emissão da União Europeia para Veículos Ligeiros, DieselNet (2011).

Segundo o sítio da internet DieselNet (2011), os testes de emissões são efectuados nos bancos de potência através dos NEDC (New European Driving Cycle, na literatura Inglesa)

– ECE 15 (ECE regulamento 15) + EUDC (*Extra Urban Driving Cycle*, na literatura Inglesa). Esse tipo de teste foi feito durante muitos anos, (até Euro III). No ano 2000, foi modificado o procedimento de ensaio para eliminar os 40 s do motor no período de aquecimento antes do início da amostragem de emissões. Este teste modificado, que começa com o motor frio, é referido como o NEDC. Esse tipo de teste é muito mais rigoroso para CO, HC e NO_x. Todas as emissões são expressas em g/km.

Para os veículos pesados, a legislação incide sobre a emissão de poluentes em gramas por quantidade de trabalho produzido por hora (g/kW.h), de modo a abranger um largo espectro de veículos pesados com grandes diferenças de potência motora.

Conforme pode ser observada na Tabela 2.4, a legislação para os veículos pesados é particularmente severa a partir do Euro 4. Nessa legislação todos os níveis de poluentes foram reduzidos, com especial destaque para as partículas que passaram de 0.10 para 0.02 g/kW.h em ESC (*European Stationary Cycle*, na literatura Inglesa), e de 0.16 para 0.03 g/kW.h em ETC (*European Transient Cycle*, na literatura Inglesa).

Normas	Data	ESC					ELR	CO ₂	ETC			
		Ruído	CO	HC	NO _x	PM	fumo		CO	NMHC*	NO _x	PM
		[dB]	[g/kW.h]				[m ⁻¹]		[g/kW.h]			
	1982		14.0	3.5	18.4							
Euro0	1990		11.2	2.4	14.4							
Euro1	1993	83-85	4.5	1.1	8.0	0.36						
Euro2	1998	72-73	4.0	1.1	7.0	0.15						
Euro3	2000	68-70	2.1	0.66	5.0	0.10	0.8	670*	5.45	0.78	5.0	0.16
Euro4	2005		1.5	0.46	3.5	0.02	0.5	670**	4.0	0.55	3.5	0.03
Euro5	2008		1.5	0.46	2.0	0.02	0.5	670**	4.0	0.55	2.0	0.03

Tabela 2.4 – Normas de emissão da União Europeia para Veículos Pesados, Martins (2008).

De modo a caracterizar os veículos na Avenida Heróis de Angola, no presente trabalho, utilizou-se uma tabela (que será explicada na secção 5.2.2) que foi feita tendo em conta as directivas a partir de 1981 (ECE 15 03) até a legislação actual em vigor (Euro V). Foi tomada essa decisão porque considerou-se que os veículos produzidos antes de 1981 (ECE 15 03) não circulam ou raramente circulam nessa avenida.

2.4.2 Normas da Qualidade do Ar

A concentração dos poluentes no ar é provocada por uma mistura de substâncias químicas, lançadas no ar ou resultantes de reacções químicas, que alteram o que seria a constituição natural da atmosfera. Estas substâncias poluentes podem ter maior ou menor impacto na qualidade do ar, consoante a sua composição química, concentração na massa de ar em causa e condições meteorológicas. Assim, por exemplo, a existência de ventos fortes ou chuvas poderão dispersar os poluentes, ao passo que a presença de luz solar poderá acentuar os seus efeitos negativos na qualidade do ar. A qualidade do ar é o termo que se usa, normalmente, para traduzir o grau de poluição no ar que se respira, QualAr (2011).

A qualidade do ar tem vindo a ser objecto de um vasto trabalho ao nível do Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional no quadro da Agência Portuguesa do Ambiente, em coordenação com as Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional no território de Portugal Continental e com as Direcções Regionais do Ambiente das Regiões Autónomas.

Recentemente, toda a legislação comunitária nesta matéria foi revista com o objectivo de incorporar os últimos progressos científicos e técnicos neste domínio bem como a experiência adquirida nos Estados-Membros, tendo sido publicada a Directiva 2008/50/CE de 21 de Maio, relativa à qualidade do ar ambiente na Europa.

As legislações que foram revistas e incorporadas na Directiva 2008/50/CE de 21 de Maio são: i) Directiva 96/62/CE do Conselho, de 27 de Setembro de 1996, relativa a avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente; ii) Directiva 1999/30/CE do Conselho, de 22 de Abril de 1999, relativa a valores limite para o dióxido de enxofre, dióxido de azoto e óxidos de azoto, partículas e chumbo no ar ambiente; iii) Directiva 2000/69/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Novembro de 2000, relativa a valores limite para o benzeno e o monóxido de carbono no ar ambiente; iv) Directiva 2002/3/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 12 de Fevereiro de 2002, relativa ao ozono no ar ambiente e; v) Decisão

97/101/CE do Conselho, de 27 de Janeiro de 1997, que estabelece uma troca recíproca de informações e de dados provenientes das redes e estações individuais que medem a poluição atmosférica nos Estados-Membros.

A Directiva 2008/50/CE foi transposta para a ordem jurídica nacional pelo Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de Setembro, que agregou ainda a quarta Directiva filha (Directiva 2004/107/CE, de 15 de Dezembro), relativa ao arsénio, ao cádmio, ao mercúrio, ao níquel e aos hidrocarbonetos aromáticos policíclicos no ar ambiente, revogando os seguintes diplomas: i) Decreto-Lei n.º 276/99, de 23 de Julho; ii) Decreto-Lei n.º 111/2002, de 16 de Abril; iii) Decreto-Lei n.º 320/2003, de 20 de Dezembro; iv) Decreto-Lei n.º 279/2007, de 6 de Agosto e; v) Decreto-Lei n.º 351/2007, de 23 de Outubro.

Período de referência	Valor limite	Margem de tolerância	Data limite para a observância do valor limite
Dióxido de enxofre			
Uma hora	350 µg/m ³ , a não exceder mais de 24 vezes por ano civil.	150 µg/m ³ (43 %)	– ⁽¹⁾
Um dia	125 µg/m ³ , a não exceder mais de três vezes por ano civil.	Nenhuma	– ⁽¹⁾
Dióxido de azoto			
Uma hora	200 µg/m ³ , a não exceder mais de 18 vezes por ano civil.	50 % em 19 de Julho de 1999, a reduzir em 1 de Janeiro de 2001 e em cada período de 12 meses subsequente numa percentagem anual idêntica, até atingir 0 % em 1 de Janeiro de 2010.	1 de Janeiro de 2010.
Ano civil	40 µg/m ³	50 % em 19 de Julho de 1999, a reduzir em 1 de Janeiro de 2001 e em cada período de 12 meses subsequente numa percentagem anual idêntica, até atingir 0 % em 1 de Janeiro de 2010.	1 de Janeiro de 2010.
Benzeno			
Ano civil	5 µg/m ³	(5 µg/m ³) 100 % em 13 de Dezembro de 2000, a reduzir em 1 de Janeiro de 2006 e em cada período de 12 meses subsequentes em 1 µg/m ³ , até atingir 0 % em 1 de Janeiro de 2010.	1 de Janeiro de 2010.
Monóxido de carbono			
Máximo diário das médias de oito horas ⁽²⁾ .	10 mg/m ³	60 %	– ⁽¹⁾
Chumbo			
Ano civil	0,5 µg/m ³ ⁽³⁾	100 %	– ⁽³⁾
PM₁₀			
1 dia	50 µg/m ³ , a não exceder mais de 35 vezes por ano civil.	50 %	– ⁽¹⁾
Ano civil	40 µg/m ³	20 %	– ⁽¹⁾
⁽¹⁾ Já em vigor desde 1 de Janeiro de 2005. ⁽²⁾ O valor máximo diário das médias octo-horárias é seleccionado com base nas médias obtidas por períodos de oito horas consecutivas, calculadas a partir dos dados horários e actualizadas de hora a hora. Cada média por período de oito horas calculada desta forma é atribuída ao dia em que termina; desta forma, o primeiro período de cálculo de um dia tem início às 17 horas do dia anterior e termina à 1 hora do dia em causa; o último período de cálculo de um dia tem início às 16 horas e termina às 24 horas do mesmo dia. ⁽³⁾ Já em vigor desde 1 de Janeiro de 2005. Valor limite a atingir apenas em 1 de Janeiro de 2010 na vizinhança imediata das fontes industriais específicas situadas em locais contaminados por décadas de actividades industriais. Nesses casos, o valor limite até 1 de Janeiro de 2010 é 1,0 µg/m ³ . A área em que se aplicam os limites mais elevados não se deve alargar a mais de 1000 m dessas fontes específicas.			
Tabela 2.5 – Valores limite de poluentes para protecção de saúde humana na Europa e em Portugal, Decreto-Lei n.º 102/2010.			

O Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de Setembro, estabelece os objectivos de qualidade do ar tendo em conta as normas, as orientações e os programas da Organização Mundial de

Saúde, destinados a preservar a qualidade do ar ambiente quando ela é boa e melhorá-la nos outros casos.

No entanto, sempre que os objectivos de qualidade do ar não forem atingidos, são tomadas medidas da responsabilidade de diversos agentes em função das suas competências, as quais podem estar integradas em planos de acção de curto prazo ou planos de qualidade do ar, concretizados através de programas de execução, QualAr (2011).

Os valores limites nacionais para a protecção da saúde humana para os poluentes: i) dióxido de enxofre; ii) dióxido de azoto; iii) benzeno; iv) monóxido de carbono, v) chumbo e; vi) PM₁₀ são apresentados na Tabela 2.5.

2.4.3 *Índice da Qualidade do Ar*

Para classificar a qualidade de ar, são estabelecidos níveis de referência para o grau de poluição, que é medido pela quantificação das substâncias poluentes presentes no ar. Para informar a população sobre os dados de qualidade do ar e tomar medidas mitigadoras e, também, para simplificar o processo de divulgação desses dados, é utilizado um índice de qualidade do ar.

O Índice de Qualidade do Ar (IQar) é uma ferramenta que permite uma classificação simples e compreensível do estado da qualidade do ar. Este índice foi desenvolvido para poder traduzir a qualidade do ar, especialmente das aglomerações existentes no país, mas também de algumas áreas industriais e cidades. O índice de qualidade do ar permite ainda, um fácil acesso do público à informação sobre qualidade do ar, através da consulta directa ou através dos órgãos de Comunicação Social, QualAr (2011).

Segundo o sítio na internet da Agencia Portuguesa do Ambiente, QualAr (2011), o IQar de uma determinada área resulta da média aritmética calculada para cada um dos poluentes medidos em todas as estações da rede dessa área. Os valores assim determinados são comparados com as gamas de concentrações associadas a uma escala de cores sendo os poluentes com a concentração mais elevada os responsáveis pelo IQar.

O cálculo do IQar numa determinada zona/aglomeração obriga à verificação da seguinte condição: Deve existir pelo menos um monitor para os poluentes NO₂, O₃ e PM₁₀ na zona/aglomeração para a qual se quer calcular o índice. Não é obrigatório a medição de CO e

SO₂ para o cálculo do índice, no entanto, caso este seja medido, as concentrações são utilizadas para o cálculo, QualAr (2011).

Poluente em causa / Classificação	CO		NO ₂		O ₃		PM ₁₀		SO ₂	
	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
Mau	10000	-----	400	-----	240	-----	120	-----	500	-----
Fraco	8500	9999	200	399	180	239	50	119	350	499
Médio	7000	8499	140	199	120	179	35	49	210	349
Bom	5000	6999	100	139	60	119	20	34	140	209
Muito Bom	0	4999	0	99	0	59	0	19	0	139

Tabela 2.6 – Classificação do Índice de Qualidade do Ar, nacional, proposto para o ano 2011, QualAr (2011).

O IQar varia de Muito Bom a Mau para cada poluente de acordo com a matriz de classificação apresentada na Tabela 2.6. Todos os valores anteriormente indicados estão em µg/m³

Segundo a Agencia Portuguesa do Ambiente (APambiente), independentemente de quaisquer factores de sinergia entre diferentes poluentes, o grau de degradação da qualidade do ar estará mais dependente da pior classificação verificada entre os diferentes poluentes considerados, pelo que o IQar será definido a partir do poluente que apresentar pior classificação (ex: valores médios registados numa dada área: SO₂ - 35 µg/m³ (Muito Bom), NO₂ - 180 µg/m³ (Médio); CO - 6000 µg/m³ (Bom), PM₁₀ - 15 µg/m³ (Muito Bom) e O₃ - 365 µg/m³ (Mau). Nesta situação o IQar será mau, devido às concentrações observadas para o ozono).

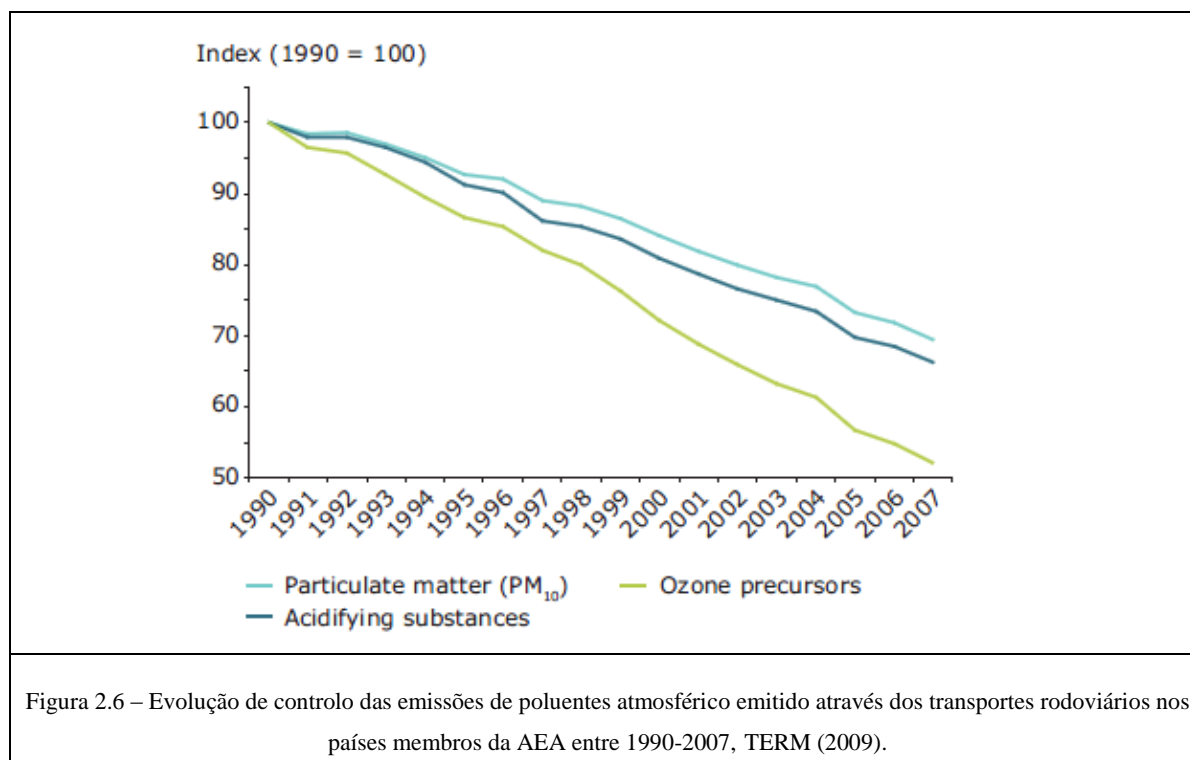
2.5 Zonas de Baixa Emissão de Poluentes

As medidas implementadas pela União Europeia para controlar as emissões de poluentes do ar atmosférico, fez com que as emissões de poluentes do ar local continuassem em declínio em todo os países membros da Agência Europeia do Ambiente (AEA), apesar de as concentrações médias de ozono ao nível do solo continuarem a aumentar. No entanto, os limites máximos de emissões de, óxidos de azoto (NO_x), dióxido de azoto (NO₂) e Partículas (PM), fixados pela AEA continuam difíceis de alcançar. O sítio da internet AKPF (2011) refere que, um homem adulto necessita diariamente de cerca de 0,5 kg de alimentos sólidos, 2 kg (líquido) de água, e cerca de 20 kg de ar para respirar. A origem dos alimen-

tos saudáveis e água pura (água mineral em garrafas) podem ser seleccionadas. No entanto, o ar não se consegue escolher nem comprar, tem-se a respiração onde quer que estejamos, daí a importância de melhorar e mudar o modo como se trata esse bem tão precioso e indispensável para a vida humana.

De modo a reduzir a poluição atmosférica e melhorar a qualidade do ar tornando-o mais propício para respirar os membros da UE sentiram necessidade de implementar medidas adicionais nas cidades onde a poluição do ar estejam em níveis que são perigosos para a saúde humana. Nesse sentido, foram implementadas as Zonas de Baixa Emissão de Poluentes (*Low Emission Zone – LEZs*, na literatura Inglesa). De acordo com o estudo TERM (2009), as LEZs controlam principalmente partículas finas, dióxido de azoto e indirectamente o ozono.

Segundo o site oficial das LEZs (2011), a má qualidade do ar mata na Europa mais de 310 mil pessoas por ano - mais do que por acidentes de trânsito - com os custos da saúde humana entre 427 e 790 bilhão de € por ano. De acordo com a AEA (2003), a exposição às partículas é, actualmente, o maior perigo para a saúde humana causado pela poluição atmosférica nas cidades da Europa.



A Figura 2.6 mostra que entre o ano de 1990 e 2007 houve uma redução significativa das emissões relacionadas com os transportes - partículas (30%), substâncias acidificantes (34%) e precursores de ozónio (48%) - em todos os 32 países membros da AEA. A introdução de filtros de partículas e catalisadores (ver secção 2.4) e a redução do teor de enxofre nos combustíveis tem contribuído substancialmente para a redução de poluentes. No entanto não se pode esquecer que em compensação o tráfego rodoviário aumentou, TERM (2009).

Nas LEZs os veículos mais poluentes são impedidos de circular, ou em alguns casos é cobrada uma taxa diária, caso circulem nas LEZs quando as suas emissões são superior ao nível estabelecido para a zona.

Segundo o sítio da internet LEZ (2011), a LEZ é aplicável a todos os veículos pesados de mercadoria para todos os países onde se encontra em vigor. No entanto, para cada país onde a LEZ funciona estão disponíveis as “Euros Standards” que definem as regulamentações locais aplicadas à LEZ. Por exemplo, nos Países Baixos, Noruega, Suécia e Dinamarca, a LEZ aplica-se apenas aos veículos pesados, com mais de 3,5 toneladas de peso Bruto. Em Londres, a LEZ começou com veículos de mercadorias com mais de 3,5 toneladas e autocarros, depois, em 2010, estendeu-se à veículos de mercadorias com mais 1,205 toneladas de peso bruto. Na Alemanha, as LEZs afectam todos os veículos a Diesel e veículos a gasolina de norma Euro 4 sem catalisador de três vias (equivalente à Euro 1), mas não se aplica a motocicletas. Na Itália as LEZs afectam todos os veículos, inclusive motocicletas.

Em Portugal começou-se há bem pouco tempo a discutir sobre este propósito. No início do ano 2011, Jornal Publico (2011), o vereador da Mobilidade da Câmara Municipal de Lisboa veio ao público anunciar que no verão do ano 2011 uma das zonas de Lisboa mais castigadas pela poluição, a Avenida da Liberdade, vai passar a cumprir as normas europeias de poluição atmosférica, ou seja, vai ser criada a primeira Zona de Emissões Reduzidas (ZER) em Lisboa. Os veículos mais poluentes vão ser proibidos de entrar nessa zona, nomeadamente os veículos que não cumprem a norma Euro I no que respeita à emissão de partículas. Como todas as leis, esta também tem algumas excepções, os veículos de emergência especiais e de pessoas com mobilidade reduzida, bem como veículos de interesse histórico devidamente certificados e os transportes públicos seja qual for a idade.

Segundo a revista do Auto Motor (2011), no dia 4 de Julho de 2011 essa medida entrou em vigor. As zonas que foram restringidas a esses veículos são a Baixa de Lisboa e o Eixo da Avenida da Liberdade, a sul da Avenida Alexandre Herculano, entre às 08h00 e às 20h00 nos dias úteis.

Numa primeira fase, o controlo policial será reforçado nestes locais, mas para já apenas com uma função pedagógica, aconselhando os automobilistas sobre vias alternativas. No entanto, segundo Auto Motor (2011) as coimas (valor mínimo a pagar é de 24,94€) não se farão esperar.

Segundo o vereador da mobilidade, Fernando Nunes da Silva, a partir de Janeiro de 2012 a ZER será alargada a toda a cidade, estimando a autarquia, com base num estudo da Universidade Nova de Lisboa, que a redução de poluentes pode atingir 30% no eixo da Avenida da Liberdade, “colocando-o dentro dos limites legais admissíveis”.

2.6 Alternativas aos Veículos que Não Cumprem “Euro Standards” das LEZs

Devido aos vários problemas associados à criação das LEZs, sentiu-se a necessidade de criar alternativas para os veículos que não cumprem com as normas estabelecidas - “Euro Standards”, as alternativas são denominadas de *Retrofitting*. Na maioria das LEZs o *Retrofitting* permite fazer vários tipos de alterações nos veículos de modo a que estes cumpram com as normas de emissão de poluentes estabelecidas.

Dependendo do que é permitido na LEZ, podem ser feitas modificações ou instalações de diferentes dispositivos de redução de emissão nos veículos, tais como: instalação/alteração do sistemas de controlo de emissões - catalisadores, adsorventes e filtros de partículas - em combinação com combustível de boa qualidade (baixo teor de enxofre) e de melhoria na gestão do motor reduzem as emissões para níveis muito baixos.

No entanto, à luz dessas alterações, a LEZ exigirá prova de que o equipamento instalado consegue atingir os padrões de emissão exigidos, e ainda, que o equipamento instalado foi aprovado por uma autoridade reconhecida de como estes satisfazem as normas de emissões exigidas.

2.6.1 *Filtro de Partículas Diesel*

O filtro de partículas Diesel (também conhecido como DPF, *Diesel Particulate Filter*, na literatura Inglesa) é um dispositivo que reduz as partículas (PM) ou fuligem dos gases de escape de um motor Diesel. Com base na tecnologia do motor e nas especificidades de aplicação, diferentes tecnologias de filtros de partículas podem ser utilizada para reduzir as emissões de partículas num veículo. Os DPF podem ser instalados nos veículos na fábrica, ou adaptados nos veículos após estes já terem circulados em estradas, LEZ (2011).

Em resumo, os DPFs são filtros onde os gases de escape passam, e as partículas são retidos no interior do filtro.

Existe dois tipos principais de filtros de partículas, conforme representado na Figura 2.7: os filtros abertos (*Partial-Flow*, na literatura Inglesa) e os filtros fechados (*Wall-Flow*, na literatura Inglesa).

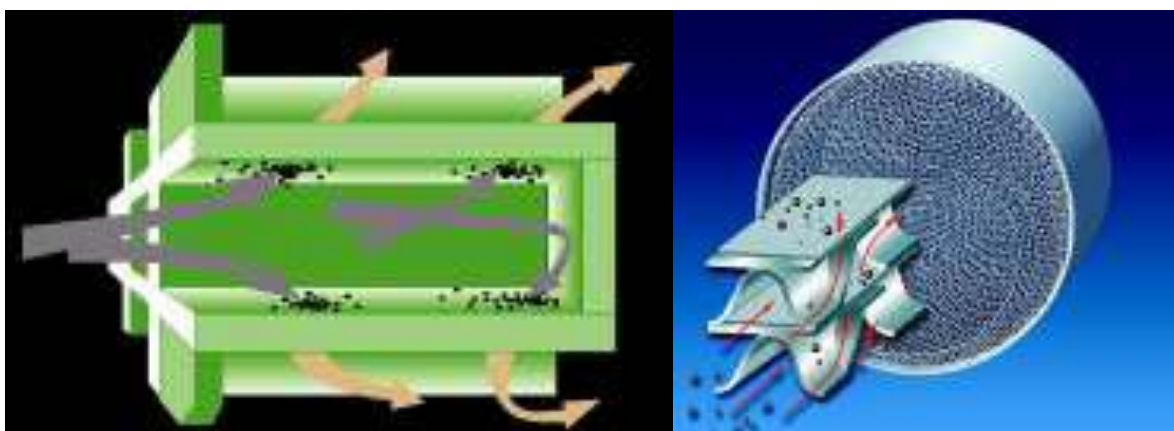


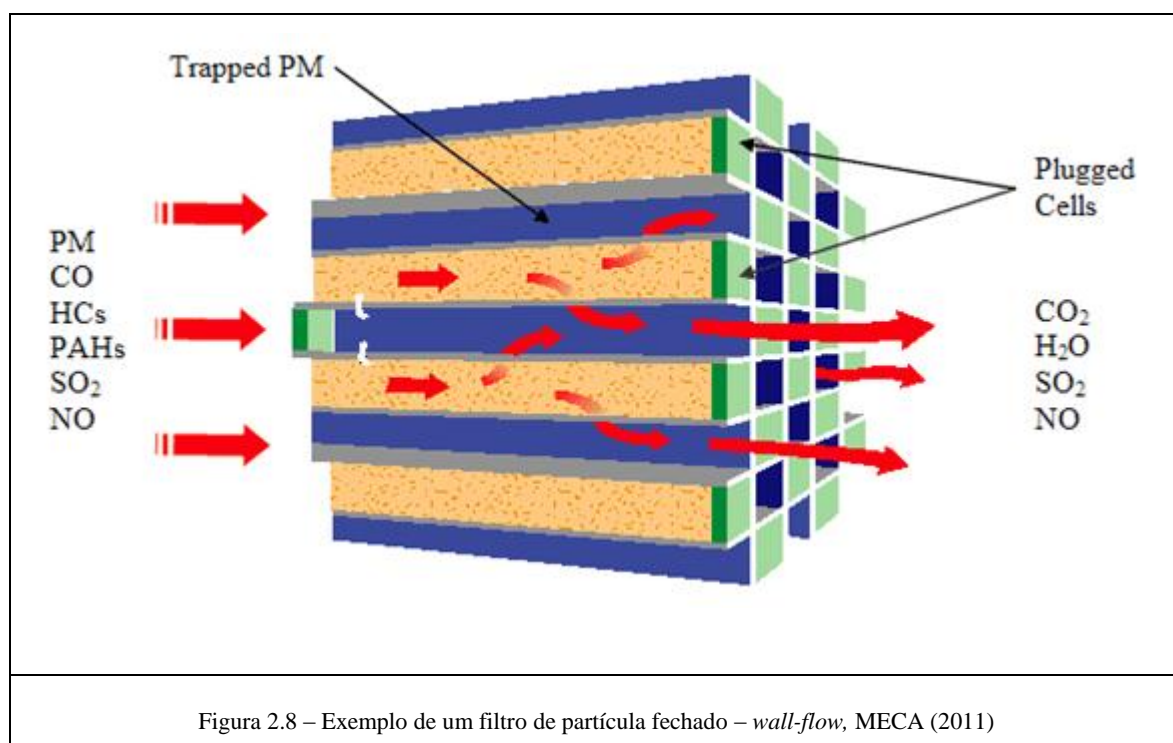
Figura 2.7 – Representação dos dois principais tipos de filtros de partículas, à esquerda filtro fechado e à direita filtro aberto, MECA (2011)

Filtro Fechado (Wall-Flow)

Nos filtros de partículas fechados, a partícula é removida por exaustão através de uma filtração física usando uma estrutura de substrato, catalisador de emissões, semelhante a um favo de mel, mas com os canais bloqueados nas extremidades. Os gases de escape são assim forçados a fluir entre os canais através das paredes, e as partículas em suspensão são depositadas nas paredes. Estes filtros são constituídos por materiais cerâmicos (cordierita,

carboneto de silício ou de titanato de alumínio), Dieselretrofit (2011). O filtro *wall-flow* é neste momento o padrão, no que diz respeito aos sistemas de tratamento de gases de escape nos veículos Diesel. Apesar de utilizar sistemas complexos e com custos comparativos mais elevados (devido à complexidade associada à necessidade de regeneração activa destes sistemas), os filtros de partículas fechados constituem a tecnologia de referência, em termos de desempenho ambiental, especialmente quando comparados com os filtros de sistema aberto (*partial-flow*), Tente and Gomes (2009). Isto porque a eficiência dos filtros *wall-flows* é muito mais elevada, removem quase completamente as partículas de carbono, incluindo as partículas finas com menos de 100 nanómetros (nm) de diâmetro. Segundo, o sítio da internet *Dieselretrofit* (2011), a eficiência dos filtros fechados é superior a 95% em massa e superior 99% no número de partículas ao longo de um vasto leque de condições de funcionamento do motor.

Uma vez que o fluxo contínuo de fuligem no filtro acabaria por bloquear os filtros, é necessário "regenerar", queimando as partículas colectadas com uma base regular, Dieselretrofit (2011).



A Figura 2.8 mostra um exemplo desse tipo de filtro. As partículas de gases de escape entram no filtro pela esquerda, como as células do filtro estão fechadas no final a jusante os gases de escape não podem sair directamente da célula, em vez disso, os gases de escape

passam através das paredes porosas das células do filtro. Neste processo, as partículas são armazenadas no lado a montante da parede do filtro e os gases de escape limpo saem do filtro pelo lado a jusante da parede do filtro.

Regeneração de Filtro de Partículas

Existe muitas técnicas de regenerar um filtro de partículas Diesel. Algumas dessas técnicas são usadas juntas no mesmo sistema de filtro para atingir a regeneração mais eficiente. Segundo Dieselretrofit (2011), os métodos mais utilizados para conseguir a regeneração a partir de aplicações de *retrofit* podem ser:

- A incorporação de um catalisador de oxidação a montante do filtro que, além de funcionar como um catalisador de oxidação convencionais, também aumenta a proporção de NO₂ em NO nos gases de escape, fazendo com que as partículas retidas no filtro queimam a mais baixa temperatura, utilizando as poderosas propriedades oxidantes de NO₂ e oxigénio.
- A incorporação de um revestimento catalítico no filtro para baixar a temperatura na qual as partículas queimam até uma temperaturas normal de escape. A temperatura de ignição necessária para oxidar partículas acumulada é reduzida através de um revestimento de metais comuns ou de metais preciosos aplicado à superfície do filtro.
- A utilização de pequenas quantidades de catalisador no combustível de origem (FBC-*fuel-borne catalys*), como o ferro ou compostos aditivo, cério, adicionado ao combustível graças a um sistema de abastecimento a bordo. O catalisador, permite que as partículas se queimem a uma temperatura mais baixa (em torno de 350°C, em vez de 650°C) e aumenta a combustão (tipicamente 2-3 minutos), enquanto os resíduos sólidos do catalisador são retidas no filtro. O controlo do processo de combustão é muito importante na manutenção do filtro a longo prazo. O desempenho dos DPF em termos de temperatura e cinética torna a tecnologia FBC particularmente adequada para ciclos urbanos e *star-stop* com pequena penalização de combustível.

- Injector de combustível ou aquecedores eléctricos colocado na linha de escape a montante do DPF para queimar as partículas acumuladas e regenerar o filtro.

Filtro Aberto (Partial-Flow)

Os filtros de partículas abertos também estão disponíveis em vários materiais com base em fibras metálicas. Esse tipo de filtro usa um substrato de folha de metal com perfuração especial através de uma camada de metal de modo que os fluxos de gases de escape sejam desviadas para canais adjacentes e as partículas são temporariamente retidas por materiais porosos antes de serem queimados por uma reacção contínua com a regeneração de NO₂ por um catalisador de oxidação localizadas a montante do escape. Este tipo de filtros tendem a não reduzir as emissões de partículas mais pequenas de forma tão eficaz como para as partículas maiores. O filtro *partial-flow* (Figura 2.9) tem uma capacidade para reduzir as emissões de PM entre 30-60%, Dieselretrofit (2011).

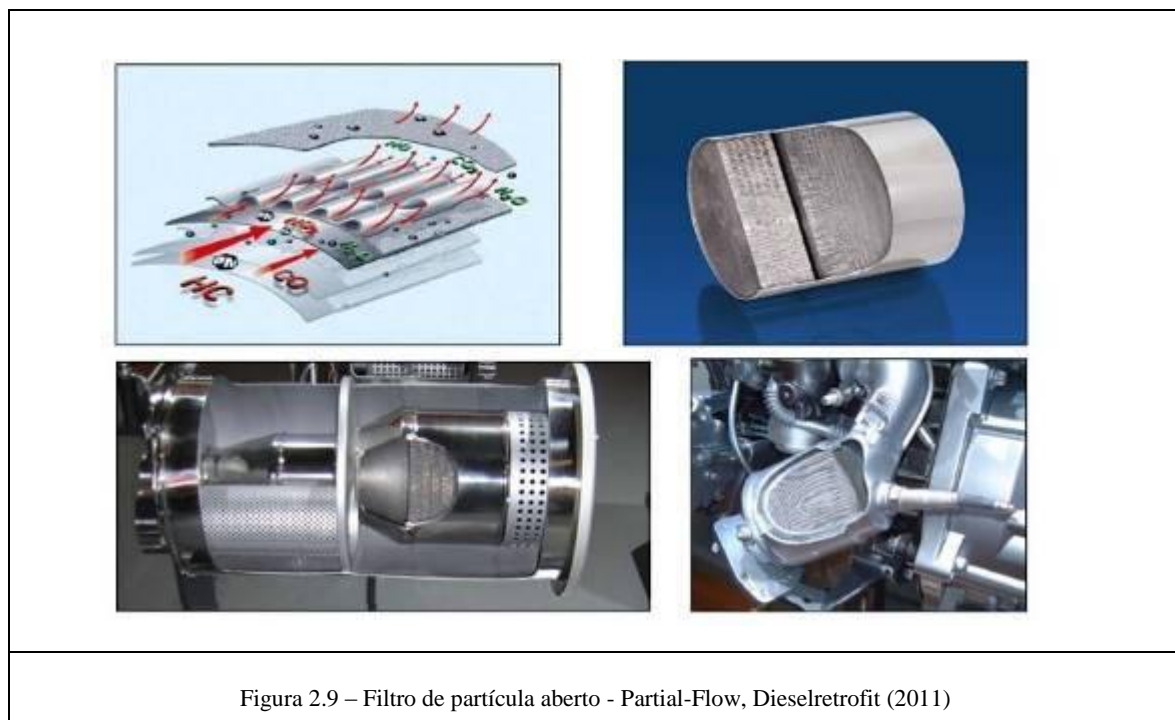


Figura 2.9 – Filtro de partícula aberto - Partial-Flow, Dieselretrofit (2011)

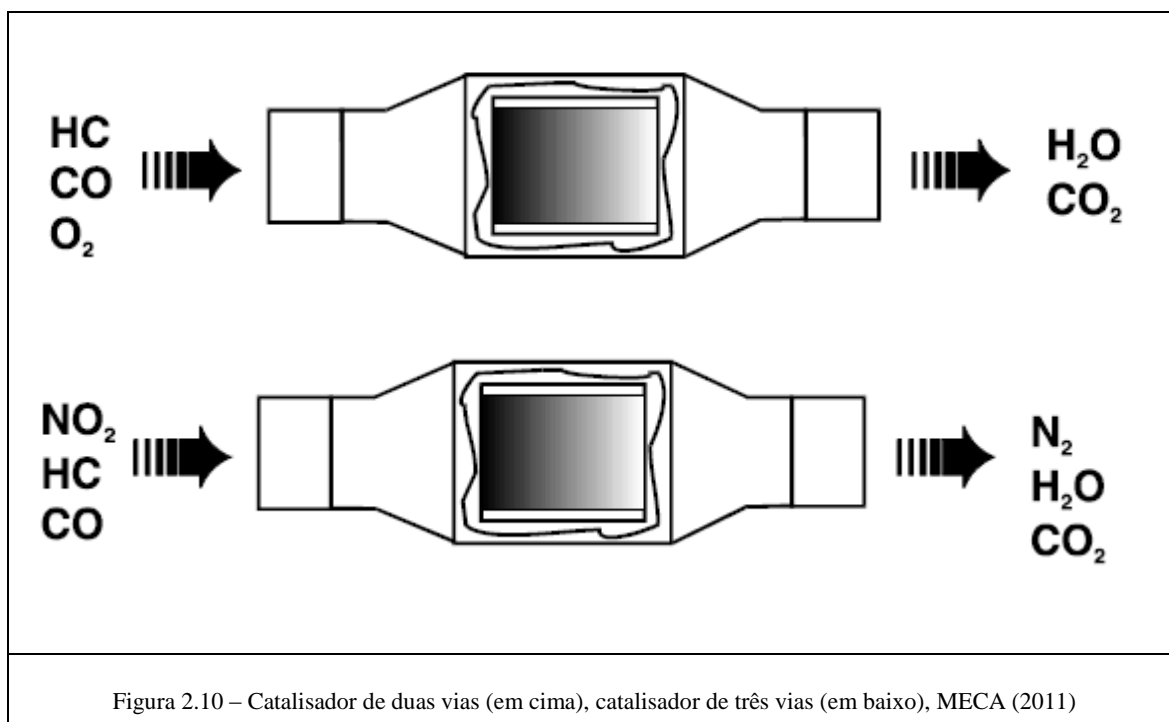
Citado em Tente and Gomes (2009) por Mayer *et al.* (2009b), se tivermos em conta o custo-benefício destes sistemas, os filtros fechados são, igualmente, mais vantajosos do que os sistemas abertos. A instalação de um filtro aberto (com um custo de 750,00 € e uma eficiência de 30%) num veículo ligeiro (assumindo que este circula anualmente 10.000 km e terá um ciclo de vida de 10 anos) permitirá reduzir as emissões de partículas em 1,2 kg ao

longo do tempo de vida do veículo, o que conduz a um custo de 625€ por cada kg de partículas evitadas. Este custo-benefício deve ser comparado com a aplicação de um filtro fechado (com um custo de 7.500,00 € e uma eficiência de 99,9%) num veículo pesado de mercadorias (com 500 horas anuais de circulação e um ciclo de vida de 20 anos correspondendo a 10.000 horas de operação) e que permitirá reduzir as emissões de partículas em 100 kg ao longo do tempo de vida do veículo, com um custo de 75,00 € por cada kg de partículas evitadas. Uma análise custo-benefício destes resultados sugere claramente a adopção deste tipo de filtros (mais caro e mais eficiente) em viaturas pesadas.

2.6.2 *Catalisadores*

Segundo MECA (2011), o catalisador tem sido o centro de controlo de fontes de emissões móveis em todo o mundo. Desde meados dos anos 1970 que os catalisadores tem vindo a ser utilizados em veículos automóveis de passageiros. Houve uma evolução desde o primeiro catalisador de oxidação de duas vias (oxidação de HC e CO), para actualmente avançados catalisadores de três vias (oxidação de HC, CO e redução de NO_x). A Figura 2.10 apresenta os catalisadores de duas e três vias respectivamente.

O catalisador é um dispositivo formado por um substrato cerâmico ou metálico que transforma grande parte dos poluentes nocivos (CO, HC, NO_x) do motor em gases inofensivos, através de reacções químicas ocorridas dentro deste componente.



Actualmente, todos os veículos Diesel e gasolina utilizam catalisadores, o que veio contribuir em muito para reduzir efectivamente as emissões produzidas.

Catalisadores de Três Vias

O Catalisador de três vias (TWC, *Three-way catalysts*, na literatura Inglesa) é a principal tecnologia utilizada para controlar as emissões nos motores a gasolina. O TWC (Figura 2.11) usa um substrato cerâmico ou metálico com uma camada activa que incorpora alumina, cério e outros óxidos e combinações de metais preciosos como, platina, paládio e ródio. Os TWC operam em circuito fechado, possuem uma sonda lambda ou sensor de oxigénio para regular a relação ar/combustível em motores a gasolina. Este tipo de catalisador pode, então, simultaneamente, oxidar os gases poluentes CO e HC em CO₂ e H₂O, e reduzir NO_x em azoto (N₂), AECC (2011).

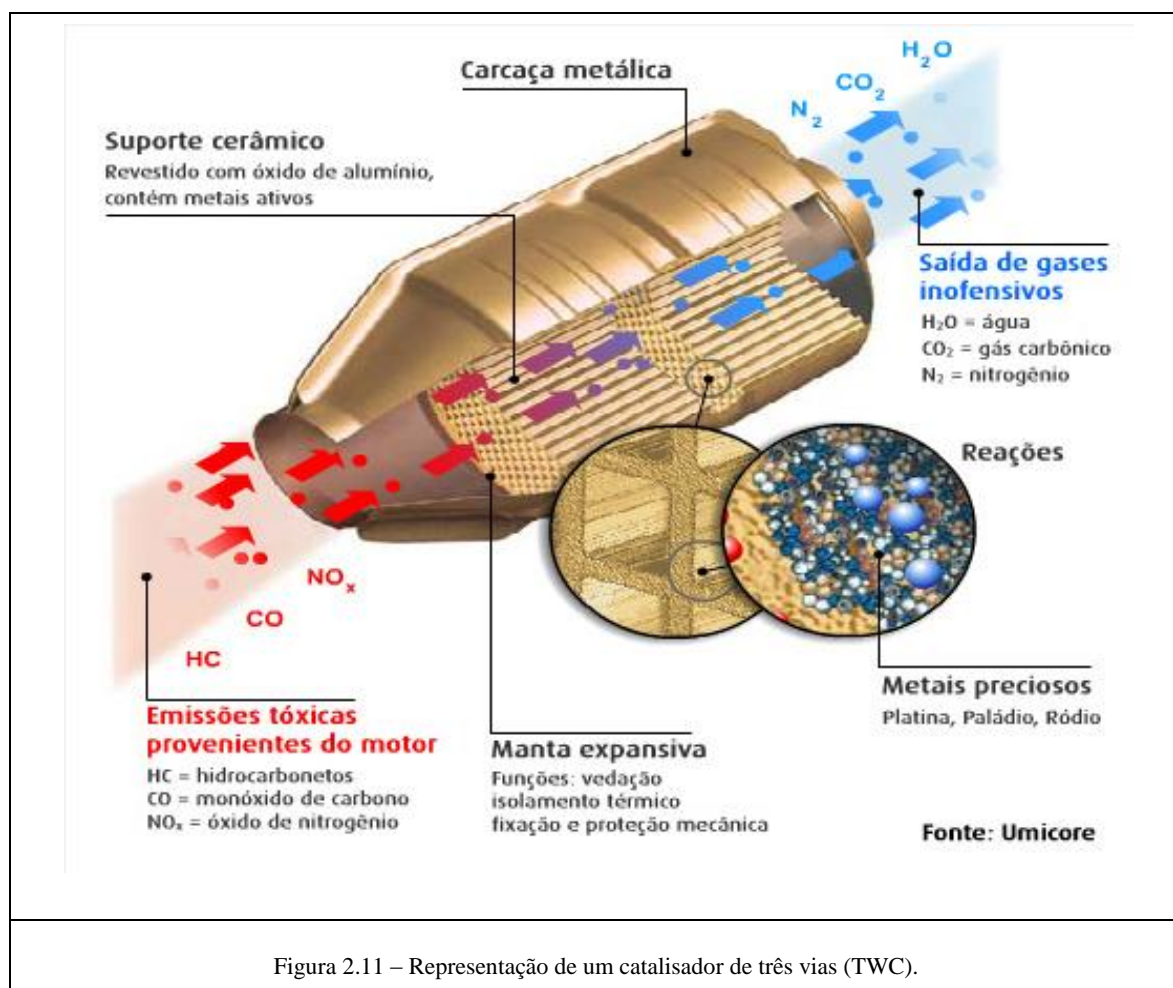
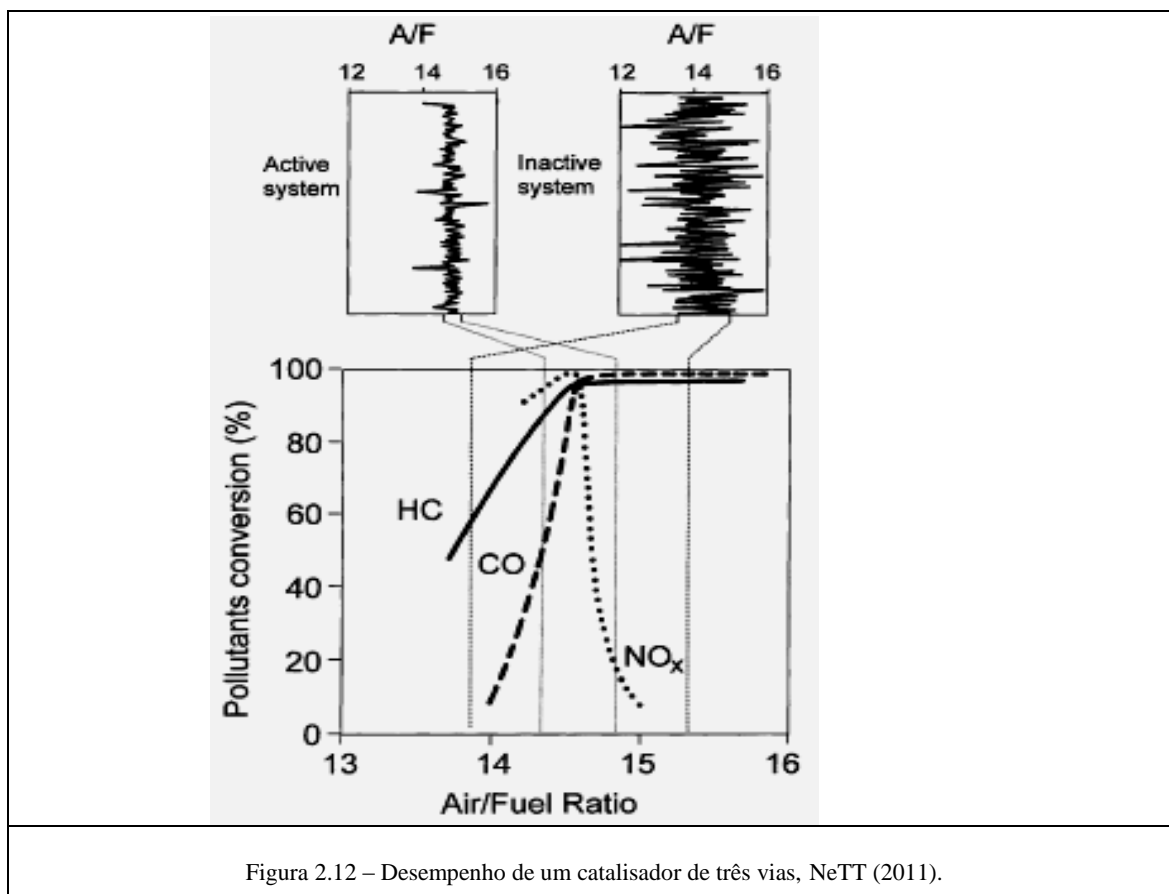


Figura 2.11 – Representação de um catalisador de três vias (TWC).

As concentrações de poluentes nos gases de escape dependem da composição da mistura ar/combustível. Para misturas pobres os gases de escape contêm reduzida concentração de

monóxido de carbono (CO) ou hidrocarbonetos (HC), e elevadas concentrações de NO_x . Por outro lado, em misturas ricas os gases de escape contêm elevadas concentrações de CO e HC e reduzidas concentrações de NO_x . Para alcançar elevada conversão simultânea de CO, HC e NO_x , a concentração nos gases de escape deve estar em proporção estequiométrica ($\lambda=1$). Caso a mistura ar/combustível não esteja estequiométrica, a conversão de CO, HC e NO_x irá deteriorar-se.

A Figura 2.12 mostra o desempenho de um catalisador de três vias. Pode-se observar que a combustão estequiométrica é o ponto de operação em que a eficiência catalítica é máxima para os três tipos de poluentes.



Em relação aos motores Diesel temos dois tipos fundamentais de catalisadores que podem ser instalados: - Catalisadores de Oxidação Diesel (DOC, *Diesel Oxidation Catalysts*, na literatura Inglesa) e Redução Catalítica Selectiva (SCR, *Selective Catalytic Reduction*, na literatura Inglesa).

Catalisadores de Oxidação Diesel (DOC)

A utilização de catalisadores de oxidação (DOC) não é um conceito novo, segundo MECA (2009) e AECC (2011), os catalisadores de oxidação foram instalados em mais de 300.000 veículos *off-road* em todo o mundo com as aplicações que remonta mais de 30 anos. Inicialmente os catalisadores de oxidação eram usados em motores a gasolina, depois veio a ser substituída pelos catalisadores de três vias sendo as suas construção e composição são semelhantes. Actualmente existem milhões de catalisadores de oxidação instalados em veículos ligeiros e pesados, *on-road* e *off-road* em todo o mundo.

Os DOCs podem reduzir mais de 90% das emissões de CO e mais de 70% das emissões de hidrocarbonetos tóxicos, MECA (2009).

O DOC é instalado no sistema de escape de um veículo, com uma capacidade para reduzir um total de 25 até 50% de partículas (PM), dependendo da composição da PM que está sendo emitida.

Os DOCs podem ser usados não só em motores Diesel que utilizem combustível Diesel convencional, mas também se tem mostrado eficientes com os outros combustíveis para motores Diesel: biodiesel; Diesel emulsificado; misturas etanol/Diesel e outras alternativas de combustíveis Diesel, MECA (2009).

Características operacionais e capacidade de controlo de Catalisadores de Oxidação Diesel (DOC)

No campo do controle de fontes móveis de emissão (veículos automóveis), os hidrocarbonetos voláteis adsorvidos nas partículas de carbono nos gases de escape do motor são referidos como a Fracção Orgânica Solúvel (SOF, *Soluble Organic Fraction*, na literatura Inglesa) - a parte solúvel da partícula do escape. Os DOC são eficientes na conversão da fracção orgânica solúvel de partículas Diesel em dióxido de carbono e água. Na Figura 2.13 é representado um diagrama de um DOC.

* Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos ou outras espécies de hidrocarbonetos tóxicos

** Carbono Elementar

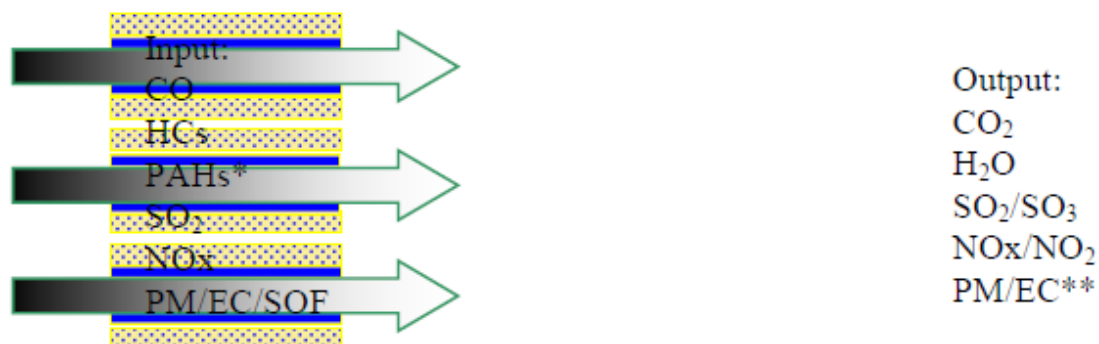


Figura 2.13 – Diagrama de um catalisador de oxidação Diesel, MECA (2009).

Ainda segundo MECA (2009), o nível de redução de partículas total é influenciado, em parte, pela percentagem de SOF nas partículas. A Sociedade de Engenheiros Automóveis (SAE) apresentou um documento técnico (SAE No. 900600) onde refere que os DOCs podem reduzir a SOF das partículas em 90% sob certas condições operacionais, nesse caso, poderiam reduzir as emissões de partículas totais entre 40-50%. A eliminação da SOF é muito importante, pois esta parcela das emissões de partículas contém um número elevado de poluentes químicos que são de especial interesse para os especialistas em saúde. Os DOCs geralmente não oxidam ou reduzem o carbono elementar ou componentes de carbono negro dos PM Diesel.

2.6.3 *Tecnologia de Controlo de NO_x*

Com o desenvolvimento da combustão pobre em motores de injeção directa a gasolina e aumento do uso de motores Diesel em automóveis de passageiros, há uma necessidade crescente para o controlo de NO_x.

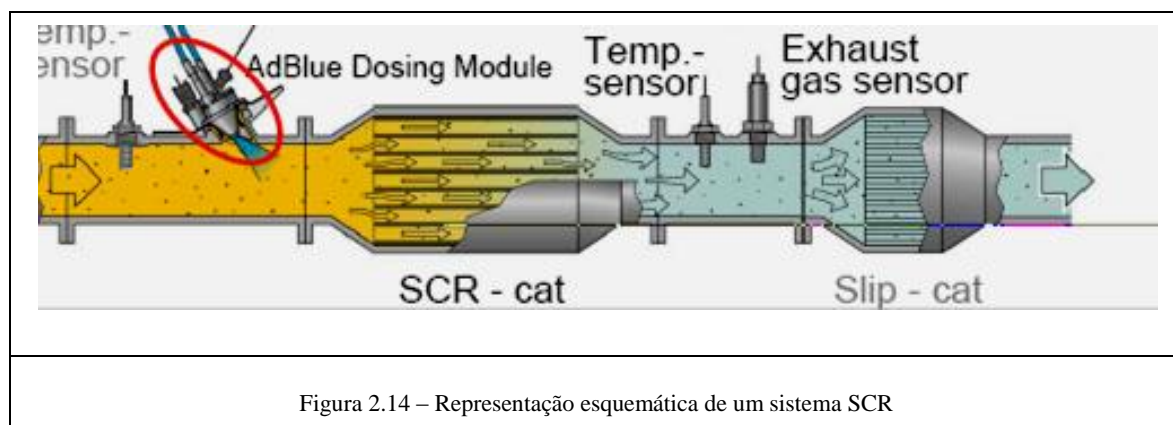
Os motores Diesel são projectados para funcionar com misturas pobres. Todavia, reduzir o NO_x em azoto molecular num ambiente rico em oxigénio dos gases de escape dos motores Diesel é extremamente difícil. A conversão de NO_x em azoto molecular no fluxo de escape sob condições normais de funcionamento exige um redutor (NH₃, HC, CO ou H₂). No entanto, quantidades suficientes de redutor não estão presentes para facilitar a conversão de NO_x em azoto.

Redução Catalítica Selectiva (SCR)

A técnica denominada de Redução Catalítica Selectiva (*Selective Catalytic Reduction – SCR*, na literatura Inglesa) foi originalmente introduzida nos motores estacionários e motores de grande porte, como os motores dos navios. No entanto, agora encontra-se equipado em maioria dos motores pesados (camiões e autocarros, etc.) Diesel na Europa. Estes sistemas, também, têm vindo a ser introduzidos em veículos ligeiros a Diesel. A aplicação de SCR para veículos movidos a Diesel permite reduções simultâneas de NO_x e PM. No sistema SCR, a amónia é utilizada como um redutor selectivo, na presença de excesso de oxigénio, para converter mais de 70% (até 95%) de NO e NO_2 em azoto num sistema de catalisador especial. Nestes sistemas podem ser utilizadas diferentes precursores de amónia, segundo AECC (2011) a opção mais comum é uma solução de ureia e água (AdBlue).

O AdBlue é um líquido incolor estável, não inflamável, contendo 32,5% de ureia, que não é classificada como perigosa para a saúde e não requer quaisquer precauções especiais de manipulação, AECC (2011). O consumo de AdBlue é tipicamente 3-4% do consumo de combustível para um motor Euro IV, e 5-7% para um motor Euro V, dependendo da carga de condução, e das condições da estrada. Um camião pode ter um tanque de AdBlue com solução de ureia suficiente para durar até 10000 km. Os sistemas a bordo alertam o condutor para a necessidade de reabastecimento.

Segundo a MECA (2009), SCR foi desenvolvido para reduzir as emissões de NO_x até 90%, ao mesmo tempo que reduz as emissões de HC entre 50-90% e as emissões de PM entre 20 a 30%.



Características operacionais e capacidade de controlo de Redução Catalítica Selectiva (SCR)

Segundo MECA (2009), a solução de ureia (ex: AdBlue) é injectada no fluxo de escape a montante do SCR, o calor do escape hidrolisa a mistura de ureia em amónia e CO_2 . Em alguns casos, a amónia tem sido usada como redutor na fonte móvel nas aplicações de *retrofit*. O redutor é adicionado a uma taxa calculada por um algoritmo que calcula a quantidade de NO_x presente no fluxo de escape. O algoritmo relaciona as emissões de NO_x para os parâmetros do motor, tais como rotações por minuto (rpm) do motor, temperatura de escape, contra pressão e carga. Quando o redutor passar sobre gases de escape num catalisador SCR, ocorrem reacções químicas que reduzem as emissões de NO_x em azoto e oxigénio. Um *layout* típico de um *retrofit* do sistema SCR para um veículo é ilustrada na Figura 2.14.

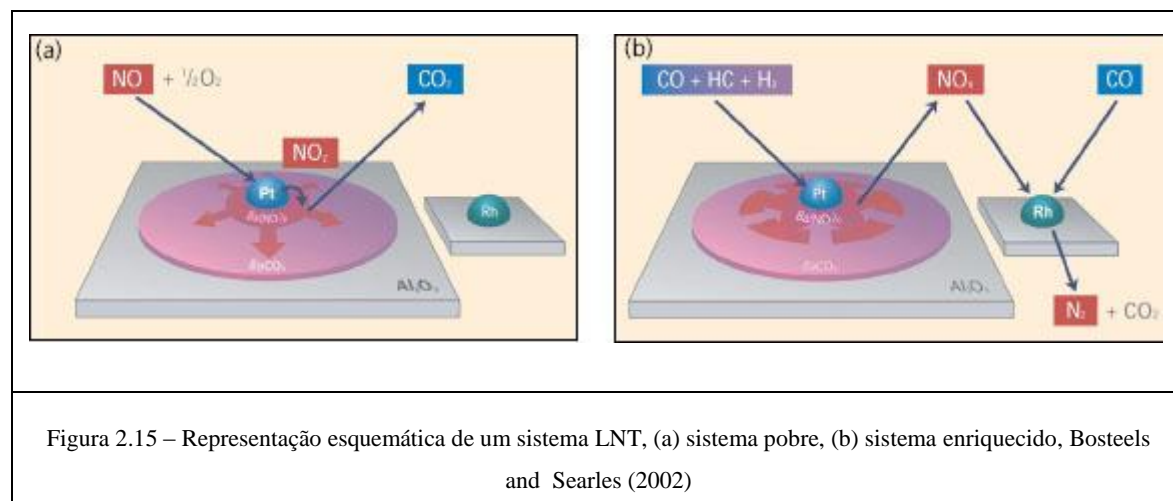
Adsorventes de NO_x (*Lean NOx Traps* – LNT)

O LNT (*Lean NOx Traps*, na literatura Inglesa) permite absorver/armazenar NO_x em condições de combustão pobre. A abordagem típica é acelerar a conversão de óxido de azoto (NO) em dióxido de azoto (NO_2), utilizando um catalisador de oxidação ou catalisador de três vias instalado próximo do motor para que NO_2 possa ser rapidamente armazenado na forma de azoto. A função do elemento de armazenamento de NO_x pode ser preenchida por materiais que são capazes de formar azotos suficientemente estáveis na faixa de temperatura determinada por operação pobre dos motores.

Quando este meio de armazenamento atinge a sua capacidade, ele deve ser regenerado. Isto é realizado em uma etapa de regeneração NO_x . Infelizmente, compostos alcalinos e alcalinos terrosos têm uma forte afinidade para sulfatação. Como consequência os compostos alcalinos e alcalinos terrosos são quase irreversivelmente envenenados pelo enxofre contido no combustível durante o modo de operação de armazenamento de NO_x , levando a uma diminuição na eficiência de adsorção de NO_x . O NO_x armazenado é libertado, criando uma atmosfera rica com a injeção de pequenas quantidades de combustível. A parte rica em execução é de curta duração e pode ser realizada de varias formas, mas geralmente inclui uma combinação de estrangulamento de entrada de ar, EGR, o ponto de ignição atrasado e pós-combustão de injeção de combustível.

O NO_x libertado é rapidamente reduzido a N_2 pela reacção com CO (a mesma reacção que ocorre nos catalisadores de três vias para motores de ignição por faísca).

Os LNT podem ser mais rentável para os motores menor que 2,5 litros, do que SCR, Fevre et al. (2010).



3. Métodos

3.1 Introdução

Neste capítulo é caracterizado o local que se escolheu para exemplo – Centro urbano de Leiria. São descritos os modelos de cálculos utilizados no presente estudo: CORINAIR e HPBFA - usados para a modelação da emissão de poluentes provenientes do tráfego rodoviário; AUSTAL2000 - usado para a modelação da dispersão desses poluentes. Por fim é feita uma descrição geral dos passos necessários para a caracterização do tráfego na avenida principal desse centro urbano (Avenida Heróis de Angola) bem como os procedimentos de cálculos de emissão e dispersão de poluentes atmosférico.

3.2 Caracterização da Zona de Estudo

3.2.1 Cidade de Leiria

Leiria adquiriu a categoria de cidade a 13 de Junho de 1545. A cidade de Leiria é sede de Concelho e capital de Distrito, vive essencialmente do comércio, agro-pecuária e indústria, donde se destaca o fabrico de plásticos, cimento e objectos de cerâmica. Embora o espaço empresarial seja composto essencialmente por pequenas empresas, o seu desenvolvimento tem fomentado a criação de emprego. Por outro lado, a existência de instituições de ensino superior, permite a maior qualificação da mão-de-obra relativamente às actividades em expansão na zona.

O concelho de Leiria tem 564,66 km² de área e 127 468 habitantes (INE 2011), subdividido em 29 freguesias. O município é limitado a norte/nordeste pelo concelho de Pombal, a leste pelo de Ourém, a sul pelos municípios de Batalha e Porto de Mós, a sudoeste pelo de Alcobaça e a oeste pelo concelho da Marinha Grande. O município tem uma faixa costeira a ocidente com o Oceano Atlântico.

A cidade de Leiria, fica a uma distância de 146 quilómetros de Lisboa e de 72 quilómetros de Coimbra, sendo a sua localização um dos elementos principais que concorre para o seu crescimento e desenvolvimento. Leiria é servida por um importante conjunto de infra-estruturas rodoviárias, nomeadamente a A1, a A8, a A17, o IC2 e as estradas nacionais EN 109, EN 242 e EN 113.

Além da rede rodoviária referida que concorre para aumentar o papel da região de Leiria no contexto regional, o caminho-de-ferro aparece também como meio de comunicação alternativo, CMLeiria (2011).

3.2.2 *Centro da cidade de Leiria/Avenida Heróis de Angola*

No presente estudo foram caracterizadas, em termos de análise de tráfico, as principais ruas do centro da cidade de Leiria, que corresponde ao centro histórico da cidade. Destas, escolheu-se a Avenida Heróis de Angola para fazer a análise experimental, que serviu de base aos restantes cálculos.

A modernização da cidade de Leiria e da Avenida Heróis de Angola funcionou como verdadeiras locomotivas. Muitos consumidores passaram a ter motivos acrescidos para inserir o centro da cidade no sistema de lugares centrais associados às práticas das compras e do abastecimento. No entanto, o elevado tráfego rodoviário que se passou a verificar nessa avenida não é de todo compatível com a circulação das pessoas, devido às emissões de poluentes atmosférico provenientes do elevado tráfego rodoviário. Nesse sentido, decidiu-se na escolha da Avenida Heróis de Angola para fazer a análise experimental

Na Avenida Heróis de Angola existe um elevado tráfego de autocarros e táxis, dada a existência do terminal da rede de transportes rodoviários e de uma praça de táxis.

A Figura 3.1 mostra uma fotografia aérea com a imagem da Avenida Heróis de Angola em pormenor. A referida Avenida apresenta apenas um sentido de circulação, com 2 faixas de rodagem, possuindo uma largura média a rondar os 10 metros, incluindo estacionamento e passeio. Sensivelmente a meio da Avenida existe um entroncamento onde é possível virar à direita, para a rua Américo Cortez Pinto. Uma grande parte dos veículos que efectuem esta manobra são táxis ou mini autocarros públicos.



Figura 3.1 – Fotografia aérea com a imagem da Avenida Heróis de Angola em pormenor, Google maps (2011)

3.3 Métodos Experimentais

3.3.1 Medição Experimental

Os serviços médicos do Instituto Politécnico de Leiria encontram-se localizados num edifício da Avenida Heróis de Angola, tendo servido, por facilidade de acesso, de local para montagem de vários equipamentos utilizados no presente estudo. Foi utilizada uma das varandas do edifício dos serviços médicos para instalar os aparelhos de medição de CO₂, de partículas, estação meteorológica e uma câmara de filmar.

A estação meteorológica (TYCON Power TP1080WC) permitiu a medição de: i) temperatura; ii) pressão; iii) humidade relativa; iv) magnitude e direcção do vento e; v) pluviosidade.

Para a montagem da estação meteorológica foi necessária a criação de uma estrutura firme, que permitisse o afastamento da mesma da fachada do edifício, para anular a influência do edifício nas várias medições. A estrutura montada e colocada em posição está representada na Figura 3.2, à esquerda.



Figura 3.2 – Fotografia da estação meteorológica instalada (esquerda), do medidor de CO₂ (direita superior) e do medidor de partículas (direita inferior).

Na parte superior direita da Figura 3.2, encontra-se representada a instalação de medidor do nível de CO₂ (modelo SENSOTRON PS32). Este exigiu algum cuidado na sua colocação devido à chuva, visto que poderia danificá-lo.

Ainda na Figura 3.2, parte inferior direita, encontra-se representada a instalação do medidor de partículas PM_{0.5}, PM₁, PM_{2.5}, PM₅, PM₁₀ (modelo LIGHTHOUSE Handheld 3016-IAQ)

Foram ainda usados dados medidos (Lima and Martins, 2010) num trabalho anterior, tendo em conta que o medidor de partículas teve um problema: houve uma falha no abastecimento de electricidade ao edifício onde este se encontrava, tendo impedido o registo dos valores de partículas de Quinta-feira à Segunda-feira da semana seguinte. Os valores registados pelo medidor de partículas foram confrontados com os valores medidos no mesmo local, pela *Roulotte* de aquisição da dispersão de poluentes (Lima and Martins, 2010). Foi concluída que os dois aparelhos de medição apresentam resultados semelhantes. Assim, para os dias onde não se conseguiu fazer o registo foram utilizados os valores registados pela *Roulotte* de aquisição da dispersão de poluentes.

Foram, também, utilizados valores de fundo rural registados, na mesma data que foram feitas as outras medições, pela estação de Ervedeira (QualAr, 2011).

3.3.2 *Registo do Tráfego Rodoviário*

Pretendendo-se caracterizar a contribuição dos poluentes provenientes do tráfego rodoviário na poluição atmosférica local, o registo e a caracterização deste tráfego representam uma etapa muito importante neste tipo de estudos. Note-se ainda que, a sua caracterização com vista à distinção entre classes, tipo de combustível, cilindrada e peso bruto se torna necessário pois, como é possível verificar na secção 2.4, os limites legais de emissão para diferentes tipos de veículos são bastante diferentes.

No estudo da emissão e dispersão de poluentes, a principal variável é o número de veículos. A emissão e dispersão de poluentes num determinado ponto, secção ou troço da via, é em função do número total de veículos que passam durante um determinado período de tempo.

Devido à variação do comportamento do tráfego rodoviário ao longo da semana, a caracterização do tráfego, para este estudo, foi feita em vários dias da semana. Assumiu-se que o comportamento do tráfego rodoviário seria idêntico para os três dias úteis do meio da semana, ou seja, terça; quarta e quinta-feira.

Decidiu-se, então, por fazer a análise a cinco dias da semana: domingo; segunda-feira; quinta-feira (correspondente ao tráfego da Terça e Quarta-feira); sexta-feira e; sábado.

Em cada um desses dias, foram retiradas quinze amostragens, sendo cada uma de um quarto de hora (15 min). Estas amostragens foram divididas por vários dias, conforme resumido na Tabela 3.1. Os horários foram considerados de forma a caracterizar o tráfego nas horas de maior fluxo, com base em algum conhecimento prévio e pesquisa no local.

Horas	Segunda-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado	Domingo
6h30- 6h45	29/11/2010	25/11/2010	26/11/2010	4/12/2010	5/12/2010
8h15- 8h30	29/11/2010	25/11/2010	26/11/2010	4/12/2010	5/12/2010
9h00- 9h15	29/11/2010	25/11/2010	26/11/2010	4/12/2010	5/12/2010
10h30-10h45	29/11/2010	25/11/2010	26/11/2010	4/12/2010	5/12/2010
12h30-12h45	29/11/2010	25/11/2010	26/11/2010	4/12/2010	5/12/2010
13h30-13h45	29/11/2010	25/11/2010	26/11/2010	4/12/2010	5/12/2010
14h15-14h30	29/11/2010	25/11/2010	26/11/2010	4/12/2010	5/12/2010
16h30-16h45	22/11/2010	25/11/2010	26/11/2010	4/12/2010	5/12/2010
17h15-17h30	22/11/2010	25/11/2010	26/11/2010	4/12/2010	5/12/2010
18h30-18h45	22/11/2010	25/11/2010	26/11/2010	4/12/2010	5/12/2010
19h30-19h45	22/11/2010	25/11/2010	26/11/2010	4/12/2010	5/12/2010
21h00-21h15	22/11/2010	25/11/2010	26/11/2010	4/12/2010	5/12/2010
23h30-23h45	22/11/2010	25/11/2010	26/11/2010	4/12/2010	5/12/2010
2h30-2h45	22/11/2010	25/11/2010	26/11/2010	4/12/2010	5/12/2010
Tabela 3.1 – Indicação dos horários e dias onde foram recolhidas as amostragens.					

3.3.3 *Metodologia do Registo de Veículos*

O registo de tráfego foi feito de duas formas diferentes:

- Através de filmagens e posterior visualização destes filmes;
- Através da contagem directa no local.

O registo do tráfego através de filmagens foi o método que se considerou mais fiável, sendo que permite uma posterior contagem de um volume de tráfego mais elevado. A análise

directa no local exigia alguma rapidez de visualização e destreza na anotação da informação requerida, razão pela qual se optou por este método em dias/horas de menor tráfego.

Nesse sentido, o método de registo do tráfego através de filmagens foi utilizado para a contagem durante os dias úteis da semana ou dias com maior tráfego de veículos, ao passo que, durante o fim-de-semana ou dias de menos tráfego de veículos recorreu-se ao método de contagem imediata no local.

A Figura 3.3 mostra a fotografia do tripé da máquina de filmagem, com a máquina em posição (esquerda) e vista da perspectiva visível nas filmagens (direita).



Figura 3.3 – Fotografia do tripé da máquina de filmagem, com a máquina em posição (esquerda) e vista da perspectiva visível nas filmagens (direita).

A caracterização dos vários veículos ligeiros quanto ao combustível utilizado e cilindrada, foi feita através da leitura de uma série de sinalizações que os veículos possuem. No entanto, apesar dessa sinalização, esta caracterização exige algum conhecimento dos veículos e dos modelos disponíveis no mercado.

Para identificação dos veículos pesados de passageiros, a nível de peso bruto, recorreu-se à informação recolhida junto de um colaborador da empresa que opera na rodoviária da Avenida Heróis de Angola.

3.3.4 *Caracterização de Fluxo de Veículos*

Para esta caracterização, foi desenvolvida uma folha de campo (anexo II). A elaboração desta folha teve como base o modelo EMEP/EEA - *Air Pollutant Emission Inventory Gui-*

debook de 2009 - que se encontra descrito no ponto 3.4.1. Este Modelo faz a separação dos veículos mediante vários atributos:

- i) classe (ligeiro de passageiros, ligeiro de mercadorias, urbanos, expressos, pesados de mercadorias, motociclos, etc.);
- ii) tecnologia motora (veículos movidas à: gasolina, gasóleo, GPL; híbridos);
- iii) cilindrada;
- iv) peso bruto.

As Figura 3.4 e 3.5 mostram um excerto da folha de campo desenvolvida e posteriormente utilizada na caracterização do tráfego no local.

Ficha de Campo			
VEICULOS LIGEIOS			
Combustivel	Cilindrada	Ano	
Gasolina	<1.4l	XX-00-00 Matriculas antes de 1992	
		00-00-XX Matriculas de 1992 Ate 2005	
	1.4.2.0l	XX-00-00	
		00-00-XX	

Figura 3.4 – Excerto da folha de campo utilizada (veículos ligeiros).

Na Figura 3.4 a primeira coluna corresponde ao tipo de combustível, a segunda coluna corresponde ao intervalo de cilindrada das diferentes classes de veículos.

Optou-se, por razões de espaço e rapidez no processo de identificação e anotação dos veículos, pelo registo do ano do veículo e só depois, pela identificação do ano, para a respectiva norma em que o veículo se insere. A anotação do ano da primeira matrícula do veículo foi imediatamente efectuada quando exposto na mesma. Quando isto não era possível – ou por impossibilidade de identificação ou por omissão – eram anotadas as letras da matrícula do veículo. Posteriormente, por meio de uma tabela de correspondência (anexo III), conseguiu-se chegar ao ano de registo do veículo em Portugal, ou seja, aquando do seu processo de colocação de matrícula.

AUTOCARROS EXPRESSOS			
Combustível	PESO	Ano	
Diesel	<=18t	XX-00-00	
		00-00-XX	
	>18t	XX-00-00	
		00-00-XX	
AUTOCARROS URBANO			
Combustível	PESO	Ano	
Diesel	<=15t	XX-00-00	
		00-00-XX	
	15-18t	XX-00-00	
		00-00-XX	
	>18t	XX-00-00	
		00-00-XX	

Figura 3.5 – Excerto da folha de campo utilizada (veículos pesados de passageiros).

Como é possível verificar nas Figuras 3.4 e 3.5, na coluna das matrículas os dois primeiros campos foram para veículos com as letras colocadas do lado esquerdo ou direito da matrícula, respectivamente. O restante espaço estava destinado a veículos com as letras da matrícula colocadas ao centro da mesma. Normalmente os veículos que têm letras no início da chapa matrícula (os dois primeiros dígitos) são veículos fabricados antes de Março de 1992, enquanto que os veículos com letras no fim da chapa matrícula, normalmente, são veículos fabricados após Fevereiro de 1992. Essas informações podem ser confirmadas através da consulta do anexo III.

A principal diferença da distinção dos veículos ligeiros e pesados de passageiros é que para veículos ligeiros, conforme pode ser observado na Figura 3.4, a subdivisão é a cilindrada e nos veículos pesados, Figura 3.5, esta é feita pelo peso bruto.

Após efectuado o registo do tráfego rodoviário pelos dois métodos descritos na secção 3.3.3, analisaram-se as filmagens e, a partir destas, caracterizaram-se os veículos através da mesma folha de campo, Figuras 3.4 e 3.5.

De modo a distribuir os veículos pelas normas de emissão, ano de fabrico, horas da amostragem correspondente foi desenvolvida uma folha de análise mais detalhada do que a refe-

rida folha de campo (anexo II). A Figura 3.6 mostra um excerto da folha de análise e, no anexo IV pode observar-se a folha de análise completa.

Veiculos Ligueros																		
Combustivel	Cilindrada	Normas euro	Ano	6h30	8h15	9h	10h30	12h30	13h30	14h15	16h30	17h15	18h30	19h30	21h	23h30	2h30	
Gasolina	<1.4l	ECE	1971															
	1.4-2.0l																	
	>2.0l																	
	<1.4l	ECE 15 00/01	1972-77															
	1.4-2.0l																	
	>2.0l																	
	<1.4l	ECE 15 02	1978-80															
	1.4-2.0l																	
	>2.0l																	
	<1.4l	ECE 15 03	1981-85															
	1.4-2.0l																	
	>2.0l																	
	<1.4l	ECE 15 04	1985-92															
	1.4-2.0l																	
	>2.0l																	
	<1.4l	Euro1	1992															
		Euro2	1996															
		Euro3	2000															
		Euro4	2005															
		Euro5	2009															
	1.4-2.0l	Euro1	1992															
		Euro2	1996															
		Euro3	2000															
		Euro4	2005															
		Euro5	2009															
	>2.0l	Euro1	1992															
		Euro2	1996															
		Euro3	2000															
		Euro4	2005															
		Euro5	2009															

Figura 3.6 – Excerto da folha de análise (veículos Ligeiros).

Figura 3.6 – Excerto da folha de análise (veículos Ligeiros).

As horas que estão representadas na Figura 3.6 são todas as horas onde foram recolhidas as amostragens. Assim, depois de preencher a folha de campo por completo foi feito o tratamento de toda a informação da referida folha e transposta para a folha de análise de modo a facilitar o posterior uso dos dados nos programas de modelação da emissão e dispersão dos poluentes provenientes dos respectivos veículos.

3.3.5 Tratamento dos Resultados

Para a introdução do volume de tráfego no programa de modelação da emissão de poluentes (COPERT) foi necessário proceder à estimativa, a partir das amostragens recolhidas no terreno, do volume de tráfego das respectivas categorias numa base temporal horária. As estimativas para os horários não medidos foram efectuadas do seguinte modo (aproximação linear a partir dos limites dos intervalos conhecidos):

Posição	1	(...)	2	(...)	3
Hora	X_1		X_2		X_3
Número de veículos	Y_1		Y_2		Y_3

Tabela 3.2 – Representação da ponderação

$$\frac{x_3 - x_1}{y_3 - y_1} = \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} \Leftrightarrow y_2 = \frac{(x_2 - x_1) \times (y_3 - y_1)}{(x_3 - x_1)} + y_1 \quad (3.1)$$

Sendo:

- $X \rightarrow$ hora da medição, [horas];
- $Y \rightarrow$ número de veículos.

A Figura 3.7 mostra um excerto de uma das folhas de cálculo Excel criadas para estimar os valores parciais e totais da quantidade de veículos na Avenida. O anexo V apresenta a folha de cálculo completa.

	Combustível	Gasolina											
	Cilindrada	<1.4l	1.4-2.0l	>2.0l	<1.4l	1.4-2.0l	>2.0l	<1.4l					<1.4l
	Normas euro	ECE 15 03			ECE 15 04			Euro1	Euro2	Euro3	Euro4	Euro5	Total
	Ano	1981-85			1985-92			1992	1996	2000	2005	2009	1992
1	6h30				0,00			0,00	3,00	0,00	1,00	0,00	4,00
2	6h45				0,14			0,29	3,43	1,00	0,86	0,29	6,00
3	7h00				0,29			0,57	3,86	2,00	0,71	0,57	8,00
4	7h15				0,43			0,86	4,29	3,00	0,57	0,86	10,00
5	7h30				0,57			1,14	4,71	4,00	0,43	1,14	12,00
6	7h45				0,71			1,43	5,14	5,00	0,29	1,43	14,00
7	8h00				0,86			1,71	5,57	6,00	0,14	1,71	16,00
8	8h15	0,00			1,00			2,00	6,00	7,00	0,00	2,00	18,00
9	8h30	0,33			3,40			3,67	7,67	8,00	0,33	1,00	24,40
10	8h45	0,67			3,70			5,33	9,33	9,00	0,67	1,00	29,70
11	9h	1,00			4,00			7,00	11,00	10,00	1,00	2,00	36,00
12	9h15	0,83			3,33			6,83	11,50	10,17	2,17	2,33	37,17
13	9h30	0,67			2,67			6,67	12,00	10,33	3,33	2,67	38,33
14	9h45	0,50			2,00			6,50	12,50	10,50	4,50	3,00	39,50

Figura 3.7 – Excerto da folha de cálculo utilizada para ponderar o fluxo horário.

Na figura 3.7 são visíveis algumas linhas pintadas a amarelo, estas correspondem aos dados das amostragens retiradas do número de veículo que transitaram na Avenida nesses instantes, ou seja, são os valores da amostragem que estão representados na folha da Figura

3.6. Nas linhas a branco, entre as várias linhas amarelas, encontra-se o resultado da estimativa efectuada de acordo com o descrito.

As colunas a azul referem-se ao total de veículos, da categoria que lhe antecede, que transitaram nesse período de tempo. O objectivo desta coluna consiste na elaboração de um gráfico de análise do número de veículos em função da hora e da norma Euro que respeita.

De notar que, nas tabelas referentes a veículos anteriores à norma Euro 1, foi utilizada a denominação “conv.”. Para designá-los como convencionais, não abrangidos por limite de emissão.

3.4 Simulação Computacional

3.4.1 Modelo de Previsão de Emissão de Poluentes Atmosférico (CORINAIR)

No presente estudo, para calcular as emissões de poluentes foi utilizado o programa CO-*PERT* (*COmputer Programme to calculate Emissions from Road Transport, na literatura Inglesa*). O Modelo de emissão que este programa utiliza é o EMEP/EEA (*The Cooperative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long Range Transmission of Air Pollutants in Europe*), anteriormente denominado por CORINAIR (*CORe INventory of AIR emissions, na literatura inglesa*), *Air Pollutant Emission Inventory Guidebook* (2009)

Segundo a EEA (2007), o CORINAIR foi um projecto realizado desde 1995 pelo então Centro Temático Europeu sobre Emissões Atmosféricas, contratados pela Agência Europeia do Ambiente. O objectivo era recolher, guardar, gerir e publicar informações sobre as emissões atmosféricas, por meio de um inventário europeu de emissão de ar e sistema de banco de dados. Trata-se de emissões atmosféricas de todas as fontes relevantes para os problemas ambientais das alterações climáticas, a acidificação, eutrofização, ozono troposférico, qualidade do ar e dispersão de substâncias perigosas.

As actualizações contemplam a metodologia, níveis de emissão e informação de actividade relevante, de maneira a permitir o cálculo de emissões de gases de escape para os seguintes veículos:

- Veículos ligeiros de passageiros (<3,5 t);

- Veículos ligeiros de mercadorias (<3,5 t);
- Veículos pesados de mercadorias e veículos pesados de passageiros (>3,5 t);
- Ciclomotores e motocicletas (<50 cm³) e;
- Motocicletas (> 50 cm³).

Segundo Ntziachristos and Samaras (2009), este modelo estima a emissão de seguintes poluentes emitidos pelo tráfego rodoviário:

- Gases promotores de Ozono (CO, NO_x, NMVOC's);
- Gases de efeito de estufa (CO₂, CH₄, N₂O);
- Substâncias acidificantes (NH₃, SO₂);
- Partículas em suspensão (PM);
- Espécies cancerígenas (PAH's e POP's);
- Substâncias tóxicas (Dioxinas e Furanos);
- Metais pesados contidos no combustível (Chumbo, Cádmio, Cobre, Crómio, Níquel, Selénio e Zinco).

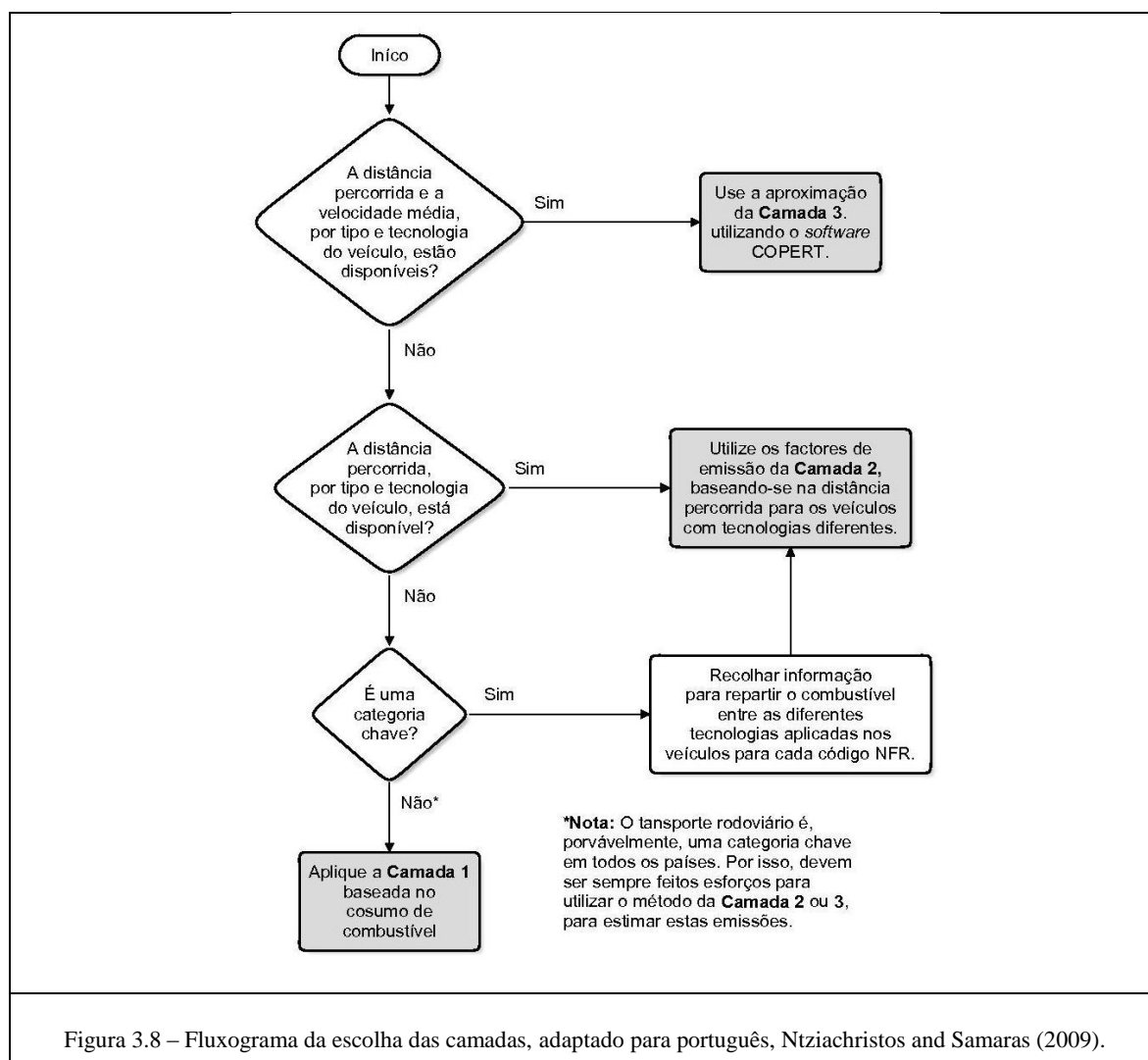
As emissões de NO_x são ainda subdivididas em NO e NO₂. As PM's são também divididas em carbono elementar e carbono orgânico em função do veículo e da tecnologia aplicada. É também fornecida uma especificação detalhada dos NMVOC's (*Non-methane volatile organic compounds*), como por exemplo: alcanos, alcenos, alcinos, aldeídos, cetonas e compostos orgânicos. Todos os níveis de emissão de partículas em suspensão PM (em termos de massa), são assumidos como se correspondessem apenas a PM_{2.5}, isto porque é assumido – pelo modelo – que todas as partículas PM emitidas são filtradas até PM_{2.5} pelo sistema de escape do veículo, Ntziachristos and Samaras (2009).

Metodologia

No presente estudo, foi utilizada a revisão mais recente da metodologia incorporada do programa de simulação de emissões - COPERT 4 de 2008.

O CORINAIR utiliza 3 metodologia de estimativa de emissões: camada 1;camada 2 e; camada 3.

Como pode ser observada no fluxograma da Figura 3.8, a metodologia da camada 1 utiliza o combustível como indicador da actividade, em combinação com factores específicos de ligação entre a emissão e o consumo de combustível. No entanto, segundo Ntziachristos and Samaras (2009), o transporte rodoviário é na prática uma categoria chave, em todos os países, para a emissão de poluentes, portanto, o método da camada 1 só deve ser utilizado na ausência de informações mais detalhada do que as estatísticas de consumo de combustível. A metodologia da camada 2 utiliza o combustível utilizado por diferentes categorias de veículos e seus padrões de emissão. O método da camada 3 é o método que utiliza mais detalhes, sendo considerado o método mais fiável e exacta, foi o método utilizado no presente estudo. Este método é caracterizado com detalhe mais à frente



A Figura 3.8 apresenta um fluxograma, da escolha das camadas para estimar as emissões de escape do transporte rodoviário.

Método da Camada 3

No método da camada 3, as emissões de gases de escape são calculados através de uma combinação sólida de dados técnicos (por exemplo, níveis de emissão) e informação da actividade (por exemplo, distância total percorrida pelo veículo).

Na abordagem do método da camada 3, o total de emissões do transporte rodoviário é calculada com a soma das emissões a quente (quando o motor está em sua temperatura normal de funcionamento) e as emissões durante a fase transiente de temperatura do motor (vulgarmente denominadas por emissões de "arranque a frio"), tal como indicado na equação 3.2

A distinção entre as emissões a "quente" (E_{QUENTE}) e a fase transiente de temperatura "arranque a frio" (E_{FRIO}) é necessária por causa da diferença substancial no desempenho dos veículos, a nível de emissão, durante estas duas condições. As concentrações de alguns poluentes, durante o período de arranque a frio, são muitas vezes superiores às emitidas durante o funcionamento a quente, e uma abordagem metodológica diferente é necessária para estimar as emissões adicionais durante esse período, Ntziachristos and Samaras (2009).

Em suma, as emissões totais podem ser calculadas por meio da seguinte equação:

$$E_{TOTAL} = E_{QUENTE} + E_{FRIO} \quad (3.2)$$

Sendo:

- E_{TOTAL} → Emissões totais, de qualquer poluente, para a resolução espacial e temporal da aplicação, [g];
- E_{QUENTE} → Emissões durante o funcionamento do motor à temperatura normal de funcionamento (a quente), [g];
- E_{FRIO} → Emissões durante o funcionamento do motor na fase transiente de temperatura (arranque a frio), [g].

As emissões dos veículos são fortemente dependentes das condições de funcionamento do motor. Neste sentido, diferentes situações de condução impõem diferentes condições de operação do motor, e portanto um comportamento a nível de emissões distinto. Em relação a isto, é feita uma distinção entre a condução em zonas urbanas, rurais e auto-estradas.

Os dados de diferentes actividades e níveis de emissão são atribuídas a cada situação de condução. As emissões de arranque a frio são atribuídas principalmente à condução urbana, e secundariamente à condução rural. Isto porque é expectável que o número de viagens a começarem em condições de auto-estrada seja pouco. Portanto, no que diz respeito às condições de condução, as emissões totais podem ser calculadas por meio da seguinte equação:

$$E_{TOTAL} = E_{URBANO} + E_{RURAL} + E_{AUTO-ESTRADA} \quad (3.3)$$

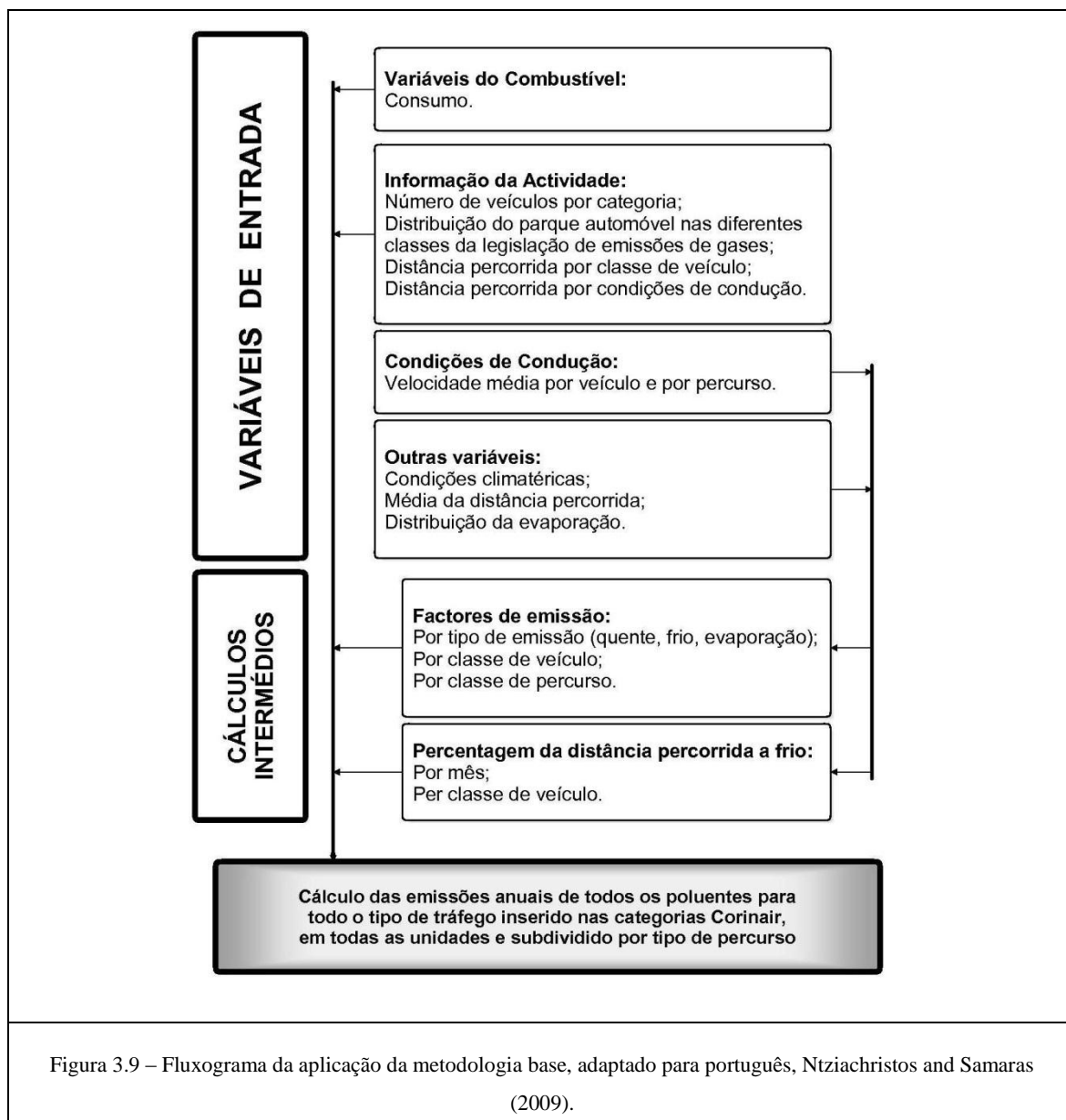
Sendo:

- E_{URBANO} → emissões totais, de qualquer poluente, na situação de condução em zonas urbanas, [g];
- E_{RURAL} → emissões totais, de qualquer poluente, na situação de condução em zonas rurais, [g];
- $E_{AUTO-ESTRADA}$ → emissões totais, de qualquer poluente, na situação de condução em auto-estrada, [g].

As emissões totais são calculadas pela combinação dos dados da actividade, para cada categoria de veículos, com os devidos níveis de emissão. Os níveis de emissão variam de acordo com os dados de entrada (situações de condução, condições climáticas). Além disso, informações sobre o consumo de combustível e as suas especificações são necessárias para manter o equilíbrio de combustível entre os valores fornecidos pelo utilizador e os cálculos.

Neste estudo foi considerado que o percurso percorrido pelos veículos é 100% urbano. Assim, a emissão total é igual à emissão urbano, prevalecendo a equação 3.2.

A Figura 3.9 mostra um resumo das variáveis de entrada necessárias e dos valores resultantes dos cálculos intermédios.



Tal como referido no Capítulo 2, as emissões de poluentes no escape de um veículo a quente dependem de uma variedade de factores, incluindo:

- a distância que cada veículo percorre por viagem;
- a sua velocidade (ou tipo de estrada);
- a sua idade;
- a cilindrada do motor e o seu peso.

A equação para estimar as emissões a quente para um determinado período de tempo, utilizando os níveis de emissão obtidos experimentalmente (anexo I), é:

$$E = e \times N \times l_{\text{veículo}} \quad (3.4)$$

Sendo:

- $E \rightarrow$ Emissões totais de qualquer poluente, [g];
- $e \rightarrow$ Factor de emissão, factor de correcção do cálculo, [g/km];
- $N \rightarrow$ Número total de veículos em estudo;
- $l_{\text{veículo}} \rightarrow$ Distância percorrida por veículo, a distância percorrida pelo total de veículos a dividir pelo número total de veículos, [km].

Para cada categoria e classe de veículos é necessária a utilização de diferentes níveis de emissão, número de veículos e quilómetros percorridos por estes. O período de tempo (mês, ano, etc) depende da aplicação.

Segundo Ntziachristos and Samaras (2009), a fórmula a ser aplicada para o cálculo das emissões de poluentes a quente, no caso de uma estimativa das emissões anuais, é o seguinte:

$$E_{HOT; i, k, r} = N_k \times M_{k, r} \times e_{HOT; i, k, r} \quad (3.5)$$

Sendo:

- $E_{HOT; i, k, r} \rightarrow$ Emissão a quente do poluente i, produzido no período em causa, por veículos da tecnologia k, que transitaram por estradas do tipo r, [g];
- $N_k \rightarrow$ Número de veículos da tecnologia k em operação durante o período em causa;
- $M_{k, r} \rightarrow$ Distância percorrida por veículo, percorrida nas estradas do tipo r por veículos da tecnologia k, [km];
- $e_{HOT; i, k, r} \rightarrow$ Factor de emissão para o poluente i, referente aos veículos da tecnologia k, que transitaram por estradas do tipo r, [g/km], (anexo V).

Segundo Ntziachristos and Samaras (2009), as emissões a frio resultam em emissões adicionais de escape. Estas podem acontecer em qualquer uma das três condições de condução (rural, urbano ou auto-estrada). No entanto, as emissões a frio são as mais prováveis para a condução urbana e rural, como o número de arranques (início da marcha) de veículos em condições de auto-estrada é relativamente limitado.

Em princípio, estes arranques a frio ocorrem para todas as categorias de veículos, mas os níveis de emissão só estão disponíveis, ou apenas podem ser razoavelmente estimados, para veículos movidos a gasolina, gasóleo e GLP – assumindo que estes veículos se comportam como veículos ligeiros de passageiros – e veículos ligeiros de mercadorias, de modo que somente estas categorias estão cobertas por esta metodologia, Ntziachristos and Samaras (2009).

As emissões de arranque a frio são calculadas como uma emissão extra sobre as emissões que seriam esperadas se todos os veículos operassem a quente (motor e catalisadores).

O rácio de emissões a frio sobre as emissões a quente é um factor relevante que é aplicado à fracção de quilómetros percorridos a frio. Este factor varia de país para país. O comportamento dos condutores (variação da distância de cada viagem) e as condições climáticas afectam o tempo necessário para aquecer o motor e/ou os catalisadores.

Emissões de arranque a frio são introduzidas no cálculo como emissões adicionais por distância percorrida, utilizando a seguinte equação (3.6):

$$E_{COLD; i, k} = \beta_{i, k} \times N_k \times M_k \times e_{HOT; i, k} \times (e^{COLD}/e^{HOT}|_{i, k} - 1) \quad (3.6)$$

Sendo:

- $E_{COLD; i, k} \rightarrow$ Emissão em arranque a frio do poluente i, produzido por veículos da tecnologia k, [g];
- $\beta_{i, k} \rightarrow$ Fracção da distância percorrida por veículos com o motor em arranque a frio ou com o catalisador a operar a temperaturas abaixo do recomendado, para o poluente i, com a tecnologia k, [-];
- $N_k \rightarrow$ Número de veículos da tecnologia k em circulação, [-];
- $M_k \rightarrow$ Distância total percorrida por veículos da tecnologia k, [km];
- $e_{HOT; i, k} \rightarrow$ Factor de emissão para o poluente i, referente aos veículos da tecnologia k, [g/km];
- $e^{COLD}/e^{HOT}|_{i, k} \rightarrow$ Quociente das emissões em arranque a frio e a quente para o poluente i, referente aos veículos da tecnologia k.

O parâmetro β depende da temperatura ambiente t_a (por razões práticas a temperatura mensal média pode ser utilizada, como acontece neste estudo), e a utilização padrão de um veí-

culo – em particular a distância de uma viagem em média l_{trip} . Contudo, como a informação em relação ao l_{trip} não está disponível em muitos países para todas as classes de veículos, foram introduzidas simplificações para algumas categorias. De acordo com a informação estatística disponível (André et al., 1998), o valor 12,4 km foi estabelecido na Europa para o l_{trip} . Além disso, o valor da variável l_{trip} deve estar entre 8 e 15 km. Portanto, é proposto que o valor 12,4 km seja o utilizado, a menos que uma estimativa nacional sustentável esteja disponível. No caso português, a EEA recomenda o uso do valor 10 km.

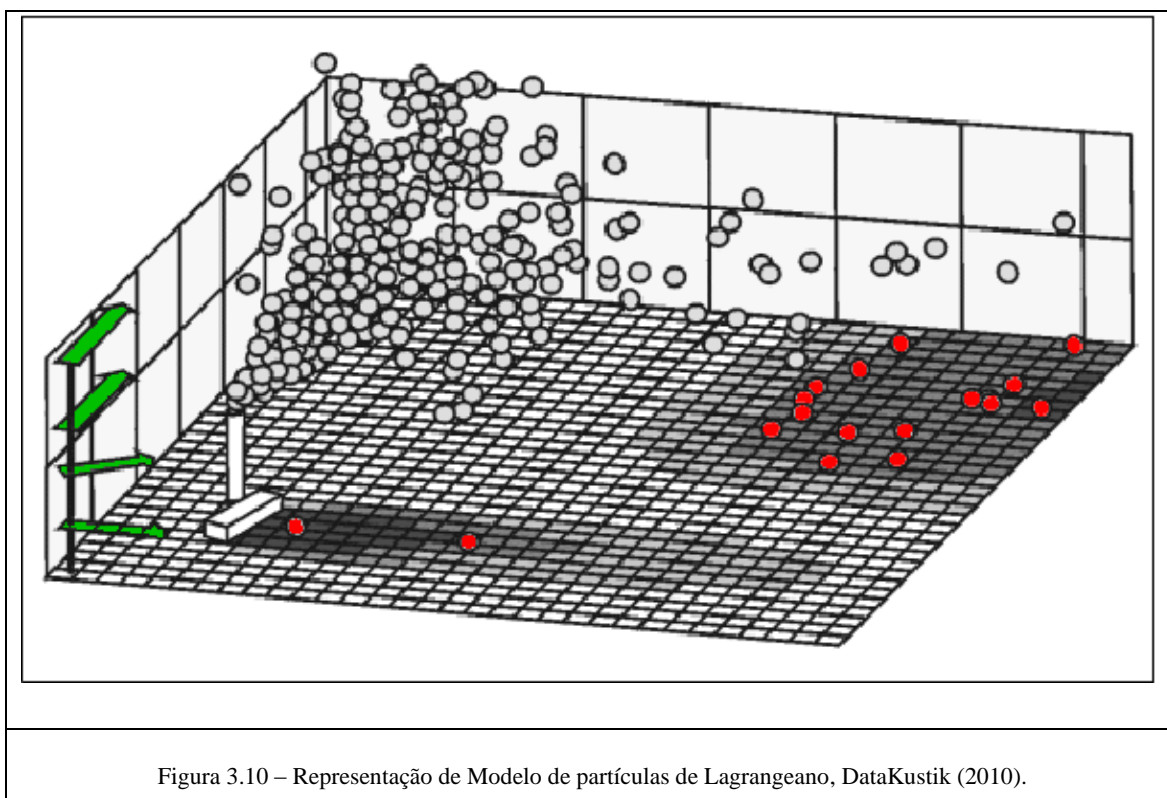
3.4.2 *Modelo de Previsão de Dispersão de Poluentes Atmosférico (AUSTAL2000)*

No presente trabalho foi utilizada a opção CadnaA-APL (*Computer Aided Noise Abatement - Air Pollution*, na literatura Inglesa) do programa CadnaA (*Computer Aided Noise Abatement*, na literatura Inglesa), para o cálculo, avaliação e representação do impacto de poluentes atmosféricos. O CadnaA-APL permite cálculos de acordo com os requisitos das Directrizes da União Europeia 1999/30/CE e 2000/69/EG, DataKustik (PDF 260705).

A opção APL combina a interface amigável de CadnaA com o modelo de dispersão AUSTAL2000 desenvolvido pela Agência de Protecção Ambiental da Alemanha (UBA – Umweltbundesamt, na literatura Alemã).

O modelo AUSTAL2000 simula a dispersão dos poluentes do ar, utilizando o modelo de Lagrange e tem capacidades para efeitos de construção, terrenos complexos, esgotamento da pluma de poluentes por deposição húmida ou seca, e reacções químicas de primeira ordem.

Segundo DataKustik (PDF 260705), o modelo de Lagrange para as partículas é dependente do tempo de emissão, campo de vento variável, estabilidade atmosférica considerada, representação do terreno e obstáculos.



A Figura 3.10 mostra um exemplo de modelo de dispersão Lagrangeano, matematicamente o movimento segue as partículas que se movem na atmosfera. Este modelo de movimento das partículas é como um processo de passeio aleatório. O modelo de Lagrange calcula a dispersão da poluição do ar pela computação através das estatísticas das trajetórias de um grande número de partículas de poluição.

Principais Características de CadnaA-APL

, As principais características da opção CadnaA-APL são (DataKustik, PDF 260705):

- Os mapas que mostram o impacto de poluentes do ar para os componentes de SO₂, NO, NO₂, NO_x, Benzeno, Percloroetileno, PM₁₀ (partículas finas), com base no modelo de cidade existentes resultantes de mapas de ruído;
- Importação de estatísticas anuais ou plurianuais de dados meteorológicos;
- Séries temporais com emissão dependente do tempo de ponto, linha, de fonte e área;

- Importações de séries temporais de emissão para cenários de tráfego arbitrária da Mobilev GL pacote de software 2.0;
- Uso alternativo dos níveis de emissão padronizados para o tráfego rodoviário com base em dados de emissão publicados oficialmente;
- Importação de fonte de dados e terreno geometria específica e outros dados relevantes a partir do modelo digital utilizado para fins de mapas de ruído.

No entanto, é importante frisar que todas as funcionalidades completas do CadnaA permanecem, também, para a opção CadnaA-APL.

Poluentes

Os níveis de emissão de dióxido de enxofre e benzeno que são utilizados estão listados no manual de níveis de emissão (HBEFA, *Handbook emission factors for road transport*, na literatura Inglesa), uma publicação conjunta pelas agências ambiental Alemães, Austríacos, Suíços. O HBEFA define os níveis de emissão conforme as situações de tráfego em função da sua velocidade média. No entanto, para PM_{10} e NO_x os níveis de emissão foram modificados em comparação com os factores listados no manual HBEFA.

Devido à proibição de chumbo com base em aditivos de combustível, os níveis de emissão de chumbo, como no manual HBEFA são alterados para zero e, portanto, não são considerados para o cálculo, DataKustik (PDF 260705).

Óxido de Azoto (NO_x)

O AUSTAL2000 calcula a concentração de emissão de NO_2 de forma indirecta através da taxa de decadência do NO. O tráfego rodoviário específico de emissões de NO_x é causada principalmente por NO e apenas a um menor proporção por NO_2 . Assim, na literatura, níveis de emissão para o tráfego rodoviário não são dadas de NO e NO_2 separadamente, mas sempre como soma de óxidos de azoto. Isto permite tratar NO_x durante o cálculo da distribuição como um composto inerte. Antes de somar os componentes do NO e NO_2 a concen-

tração de NO é convertido em NO₂ com base em seus respectivos massas moleculares (NO = 30 g / mol; NO₂ = 46 g / mol) de acordo com a equação 3.7.

$$\text{NO}_x \text{ (em } \mu\text{g/m}^3\text{)} = \text{NO} * 46/30 \text{ (wm } \mu\text{g/m}^3\text{)} + \text{NO}_2 \text{ (em } \mu\text{g/m}^3\text{)}. \quad (3.7)$$

Partículas (PM)

O AUSTAL2000 caracteriza as partículas (PM) em classes diferentes de acordo com o diâmetro aerodinâmico (1-4), que pode ser distinguidos por:

- pm-1 Para tamanho <que 2.5 µm
- pm-2 2.5 µm a 10 µm
- pm-3 10 µm a 50 µm
- pm-4 >50 µm

Portanto, o total de níveis de emissão de PM₁₀ resultado da soma dos níveis de emissão para processos de combustão e de desgastes (embraiagem, travão, superfície da estrada e pneus) é representado pelos componentes pm-1 e pm-2.

Dados Meteorológicos

O arquivo meteorológico especifica os dados da direcção do vento, velocidade do vento, número da estação dentro da rede DWD (*DWD: Deutscher Wetterdienst* , Serviço Meteorológico Nacional da Alemanha). Segundo a norma AUSTAL2000 existem dois tipos de ficheiros meteorológicos que podem ser utilizados no CadnaA-APL: i) Ficheiro AKT (antigo formato de dados - DWD) e; ii) Ficheiro AKTerm (formato actualmente utilizado pelo DWD).

Os dados meteorológicos são normalmente fornecidos em formato AKTerm (séries temporais meteorológico conforme o formato utilizado pelo Serviço Meteorológico Alemão, DWD), que é especificado pelo parâmetro az. Um AKTerm é um arquivo de texto com uma linha de dados para cada hora do ano sucessiva. Neste tipo de formato, além da entrada de dados meteorológicos, pode ser necessário especificar parâmetros de emis-

são, em forma de uma série temporal. Este ficheiro é o aconselhado pela DWD para ser utilizado no cálculo de AUSTAL2000.

No entanto, a série temporal meteorologia do arquivo AKTerm contém os mesmos dados que um arquivo de AKT, mas em um formato de dados diferentes.

Neste trabalho foi utilizado o formato AKT. A Tabela 3.3 mostra a estrutura de um registo no formato AKT. No formato AKT, cada linha contém 24 caracteres que representam um registo de dados válidos para uma hora.

Parâmetro	Posição
ID da Estação (*)	1 até 5
Data (AnoMêsDiaHora)	6 até 15
ID da Interpolação (*)	16
Direcção do Vento (°/10)	17 até 18
Velocidade do Vento (knots)	19 até 20
Classe da Estabilidade (1-6)	21
Classe Turner (*)	22
ID da chave WW (*)	23 até 24

(*) Valor necessário, mas não avaliados.

Tabela 3.3 – Estrutura de um registo no formato AKT, AUSTAL2000 (2009).

Como mostra a Tabela 3.1, os primeiros 5 dígitos são de números de estação. A identificação da estação bem como os dados da interpolação e outros parâmetros assinalados por (*), são valores necessários mas não avaliados. Estas posições podem ficar em branco no caso de faltar alguns dos dígitos. A direcção do vento em graus (°) deve ser dividido por 10 e a velocidade do vento tem de estar em knot (1 knot = 0,514 m/s).

Limites da Área de Cálculos

O cálculo da malha é realizado pelo módulo AUSTAL2000. Nestes domínios de cálculo tem que se garantir que a máxima resolução de pontos da malha não ultrapasse os 300 por 300 pontos. Tem que ter origem no (0,0) para ser incluído na área de cálculo ou como coordenadas na faixa dos Gauss-Krüger – coordenadas para a Alemanha. Com mais de 300 pontos de malha em qualquer direcção o módulo AUSTAL2000 encerra o processo de cálculo.

3.4.3 *Cálculo de Emissão de Poluentes (CORINAIR)*

Com todos os valores das cinco tabelas, correspondentes aos 5 dias, categorizando o número de veículos por: classe, combustível, cilindrada, peso e a norma Euro a que respeita, já se pode prosseguir para a inserção dos valores no programa COPERT.

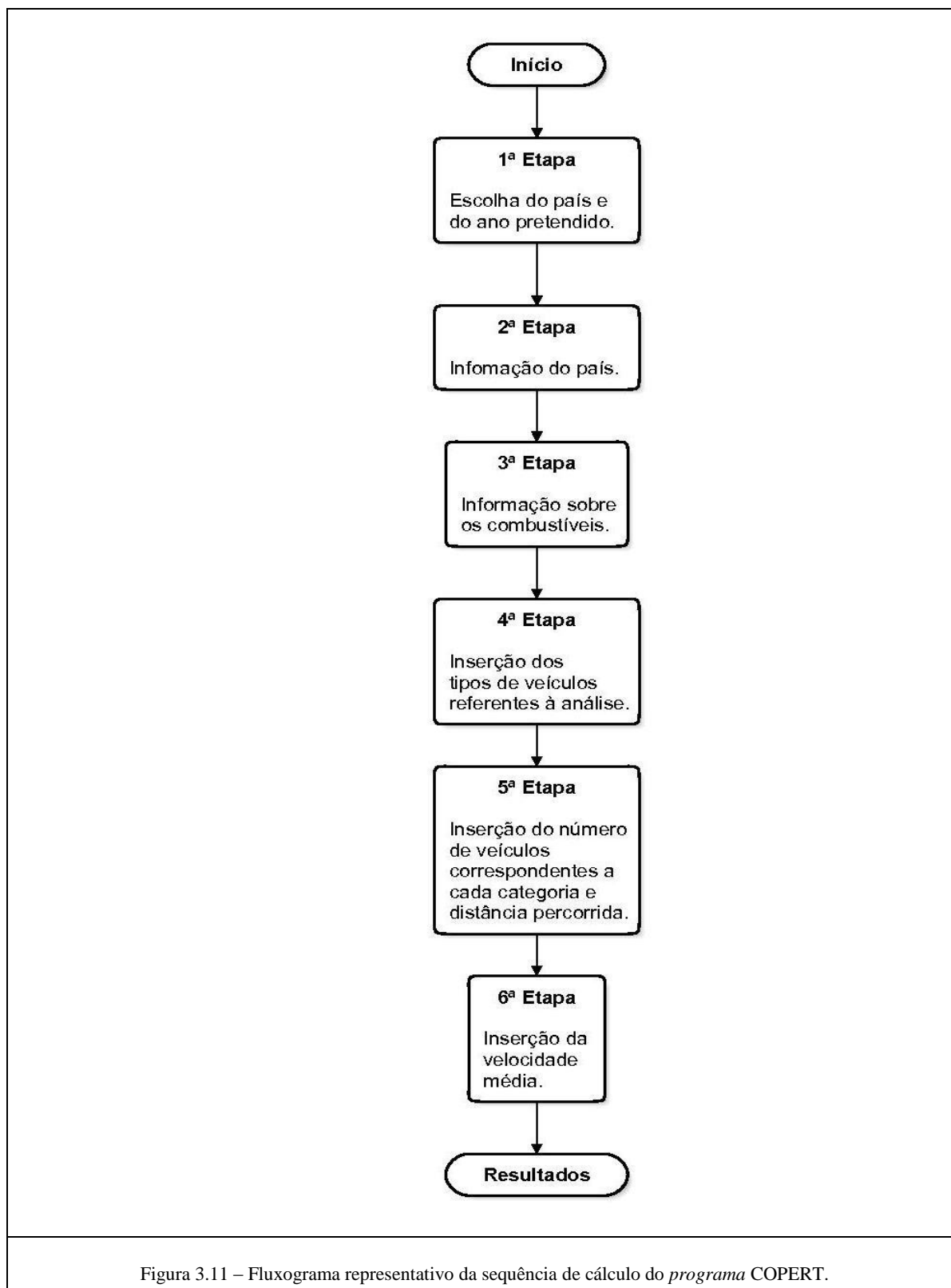
O COPERT é um programa que é baseado numa metodologia para estimar as emissões de poluentes anuais produzidas pelo sector dos transportes rodoviários a um nível nacional. Os principais elementos metodológicos desse programa têm sido desenvolvidos no âmbito de vários projectos científicos, Kouridis et al. (2009).

Este programa tem em conta três modos diferentes de emissões (Kouridis et al., 2009):

- Emissões a quente;
- Emissões de arranque a frio;
- Emissões devido à evaporação da gasolina.

Conforme referido no ponto 3.4.1 do presente trabalho, a metodologia do COPERT consiste em níveis de emissão específicos para cada veículo que são combinados com os dados da actividade para o cálculo das emissões totais. Os principais dados referentes à actividade incluem o número de veículos (distinguidos nas diferentes classes e normas Euro a que respeita):

- i) velocidade do veículo em vias urbanas, rurais ou auto-estrada;
- ii) distância percorrida ao longo das mesmas condições de condução.



Na Figura 3.11 mostra-se um fluxograma representativo da sequência de cálculo do programa COPERT.

Determinação dos Resultados

Como referido na secção 3.4.1, o COPERT baseia-se no cálculo de emissões anuais. No caso do presente estudo pretendem-se cálculos de emissão de poluentes semanais. No entanto, o programa requer a introdução das temperaturas mínimas e máximas registadas em cada mês, de modo a calcular o valor de β , valor que está directamente relacionado com o cálculo das emissões em arranque a frio. Este valor será tanto menor, quanto mais elevados forem as temperaturas, visto que as emissões em arranque a frio proveniente do veículo serão menores.

De modo a seguir está lógica, foi atribuída a mesma temperatura em todos os meses, dado que o programa iria calcular uma media das temperaturas para atribuir o β : De acordo com os valores das temperaturas registados na estação meteorológica instalada no local de estudo, foi considerado para a época em questão uma media de temperatura mínima de 5°C e máxima de 16°C.

Foi considerado, igualmente para este estudo, que os veículos circulavam a uma velocidade média de 30 km/h e num circuito cem por cento citadino (urbano).

O COPERT foi desenvolvido de um ponto de vista geográfico e temporalmente grande. Para cálculos de emissões com dados anual e prevendo uma área geográfica considerável, como por exemplo um país. Para este estudo, concentrado numa Avenida, foi encontrado um problema. A Avenida possui cerca de quatrocentos metros de comprimento, o mínimo de distância percorrida aceite pelo programa é de um quilómetro. Foram efectuados tratamentos de resultados para assim, adapta-los a esta realidade. Este tratamento é caracterizado mais à frente.

No fim de introduzir todos os parâmetros necessários, o programa calcula diversos poluentes, tais como: CO, VOC, NO, NO₂, NO_x, PM_{2.5}, PM₁₀, CO₂ etc...

A Figura 3.12 mostra um exemplo da janela do *programa* COPERT com os resultados dos cálculos Os dados calculados são:

- i) emissão em arranque a frio;
- ii) emissão a quente;
- iii) emissões por evaporação;

- iv) emissão total;
- v) os factores da emissão de arranque a frio;
- vi) os factores da emissão a quente.

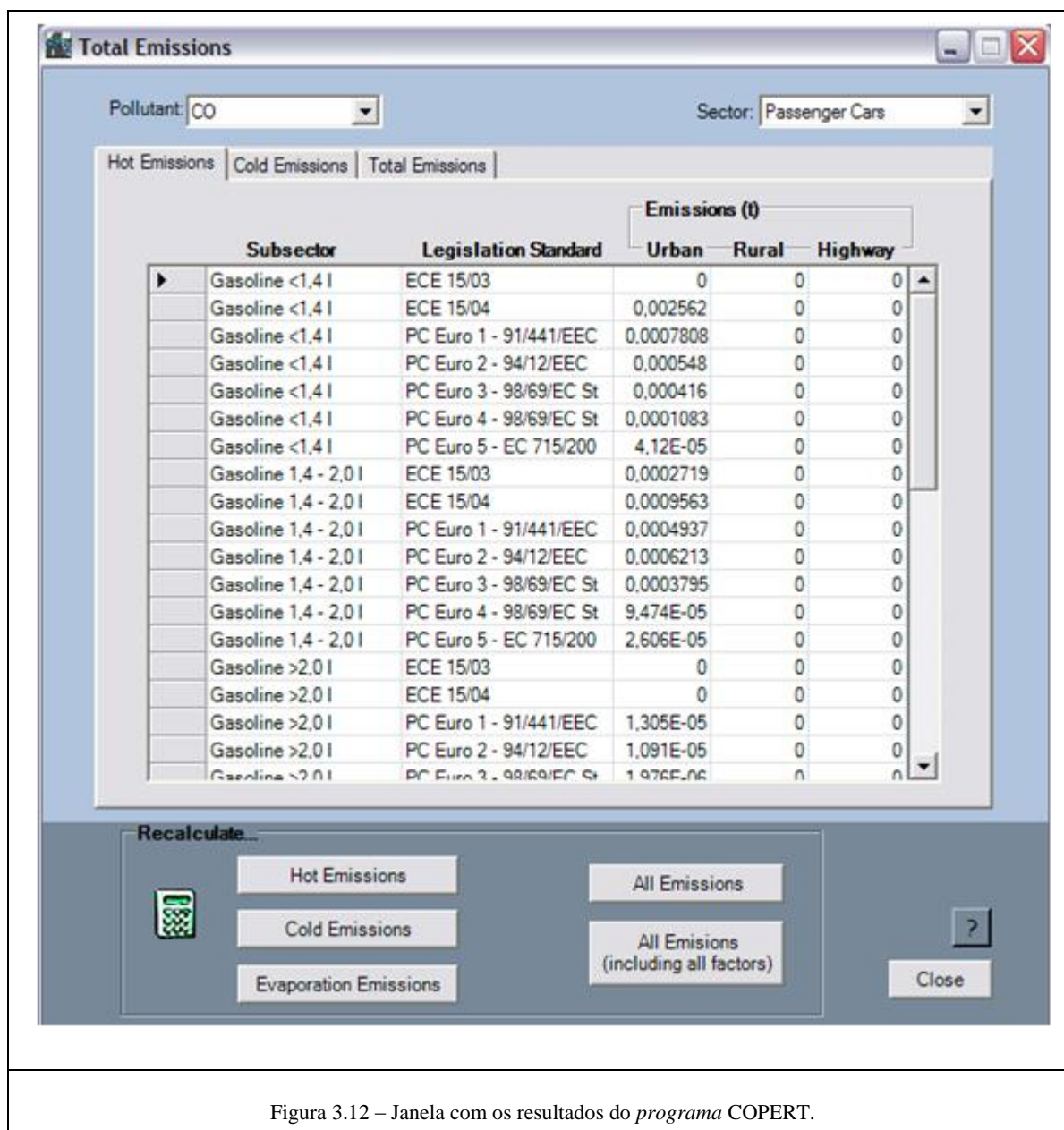


Figura 3.12 – Janela com os resultados do programa COPERT.

Tratamento de Resultados

Foi necessário converter a distância percorrida pelos veículos, de um quilómetro para os quatrocentos metros que a Avenida possui. Esta conversão foi feita através da multiplicação de um factor de 40%. Esta conversão é exacta e directa para as emissões a quente, o que não se passa para o cálculo das emissões em arranque a frio.

O parâmetro β calculado pelo programa COPERT é aproximadamente 0,3. O programa considera, no caso da distância percorrida de um quilómetro, que os primeiros trezentos metros foram percorridos na condição de arranque a frio. Quando o que é pretendido é que o cálculo das emissões em arranque a frio seja feito com base no número absoluto de veículos a circular nessa situação, com base numa amostragem feita na Avenida. Só depois dessa alteração, se poderia efectuar a alteração da distância percorrida.

A alteração que foi feita, tem por base a seguinte equação:

$$E_{COLD_{conv}} = \left[E_{HOT} + \left(\frac{E_{HOT} \times f.p.}{\beta} \right) \right] \times l \quad (3.8)$$

Sendo:

- $E_{COLD_{conv}}$ → emissão em arranque a frio, com correcção do factor de percentagem e da distância percorrida, [ton];
- E_{HOT} → emissão a quente, fornecida pelo COPERT, [ton].
- E_{COLD} → emissão em arranque a frio, fornecida pelo COPERT, [ton];
- f.p., → factor de percentagem, do número de veículos a circularem em arranque a frio, [%];
- β → Beta fornecido pelo COPERT;
- l → factor de conversão da distância, [%].

		Emissão a quente (t)	Emissão a frio (t)	Emissão total Copert(t)	Emissão total 100% a frio para 400m (t)
Gasoline <1,4 l	ECE 15/03	0,0003555	0,0001616	0,0005171	0,000372596
Gasoline <1,4 l	ECE 15/04	0,0111	0,005044	0,01614	0,011631332
Gasoline <1,4 l	PC Euro 1 - 91/441/EEC	0,004487	0,005569	0,01006	0,009734635
Gasoline <1,4 l	PC Euro 2 - 94/12/EEC	0,002973	0,007413	0,01039	0,011758062
Gasoline <1,4 l	PC Euro 3 - 98/69/EC Stage2000	0,002362	0,008	0,01036	0,01235056
Gasoline <1,4 l	PC Euro 4 - 98/69/EC Stage2005	0,0005668	0,001564	0,002131	0,002456546
Gasoline <1,4 l	PC Euro 5 - EC 715/2007	0,0002393	0,0006603	0,0008996	0,001037123
Gasoline 1,4 - 2,0 l	ECE 15/03	0,0008574	0,0003897	0,001247	0,000898563
Gasoline 1,4 - 2,0 l	ECE 15/04	0,005608	0,002549	0,008157	0,00587736
Gasoline 1,4 - 2,0 l	PC Euro 1 - 91/441/EEC	0,003358	0,003729	0,007087	0,00665971
Gasoline 1,4 - 2,0 l	PC Euro 2 - 94/12/EEC	0,003507	0,007821	0,01133	0,012553356
Gasoline 1,4 - 2,0 l	PC Euro 3 - 98/69/EC Stage2000	0,002242	0,006795	0,009037	0,010584567
Gasoline 1,4 - 2,0 l	PC Euro 4 - 98/69/EC Stage2005	0,0005573	0,001376	0,001933	0,002184711
Gasoline 1,4 - 2,0 l	PC Euro 5 - EC 715/2007	0,0001428	0,0003526	0,0004954	0,000559829

Figura 3.13 – Excerto da folha de cálculo onde foi feita a correcção das emissões.

A Figura 3.13 mostra um excerto da folha de cálculo da conversão das emissões, que pode ser consultado no anexo VI. Pode-se observar que a amarelo são as emissões obtidas atra-

vés do *programa* COPER, enquanto que a vermelho estão dispostas as emissões com a correcção feita por meio da equação 3.8.

A conversão foi feita para os cinco dias em análise e para as emissões totais dos sete dias da semana. Foi também feito o cálculo para 0, 25, 50, 75 e 100% de veículos a circularem em arranque a frio. Isto para poderem ser visíveis as consequências na emissão de poluentes de um motor, e dos sistemas de tratamento de gases de escape, em funcionamento a temperaturas que não as ideais.

3.4.4 *Cálculo de Dispersão de Poluentes (AUSTAL2000)*

Como já foi referido ao longo do presente trabalho, o programa utilizado para o cálculo de dispersão de poluentes utiliza o modelo AUSTAL2000. Para iniciar o processo de modelação de dispersão de poluentes foram necessários os seguintes dados de entrada:

- i) dados geográficos da zona em estudo;
- ii) dados do tráfego rodoviário e das emissões calculadas através do programa COPER 4 de cada rua em estudo
- iii) dados meteorológicos.

Dados geográficos da zona em estudo

Os dados geográficos contemplam a altimetria, a planimetria, a topografia do terreno (curvas de nível) e as alturas de edifícios respectivamente. A informação deve ser actualizada e desagregada sobre o modelo topográfico da área, localização de vias de tráfego, edificações e outras informações relevantes.

Na zona de estudo em questão, CBD (*Central Business district*) da Cidade de Leiria, já tinha sido efectuado um estudo para o cálculo do mapa do ruído, Caseiro and Coelho (2004), em que foi utilizado o mesmo programa (CadnaA). Utilizou-se assim toda a cartografia desta zona resultante, já com o referido tratamento, deste estudo..

A Figura 3.14 mostra a zona de estudo com todos os tratamentos necessários já efectuados.

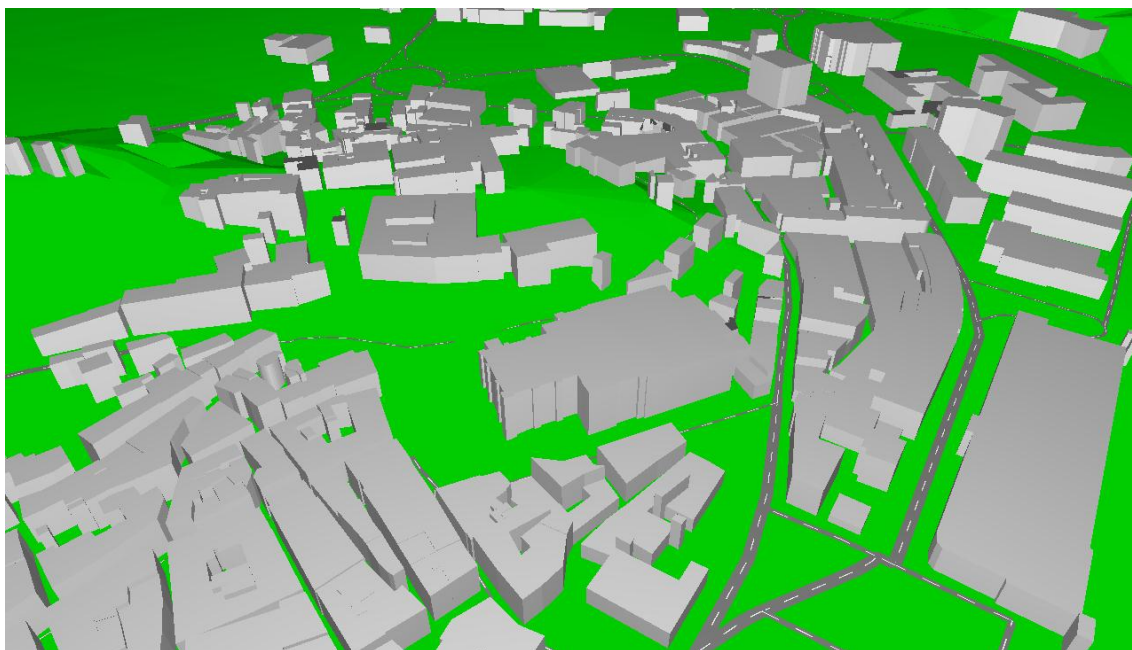


Figura 3.14 – Identificação da zona de estudo, imagem 3D do CadnaA-APL.

Dados do tráfego rodoviário e das emissões de cada rua em estudo

A análise da contagem dos veículos na Avenida Heróis de Angola já foi descrita na secção 3.3.2 do presente trabalho e pode ser consultada no anexo V. No entanto, devido a influência de poluentes das outras ruas/estradas, foi necessária saber o número de veículos que circulam nas estradas das outras ruas da CBD da Cidade de Leiria. Nesse sentido, para as outras ruas, foi igualmente tido como referência o número de veículos utilizado pela Caseiro and Coelho (2004). Efectuou-se a distribuição destes veículos por classe; categoria; cilindrada e peso bruto de acordo com a distribuição obtida na Avenida Heróis de Angola. Desse modo, conseguiu-se calcular os níveis de emissão dessas ruas através do CORINAIR, que posteriormente são utilizados no cálculo de dispersão.

O CadnaA-APL apresenta várias opções de introdução de dados para estimar a emissão e, posteriormente, calcular a dispersão de poluentes:

- i) utilizando o total de veículos que circula durante um determinado período de tempo;
- ii) utilizando o número de veículos por hora, fazendo a diferenciação dos períodos do dia (dia, noite, anoitecer)

iii) utilizando os parâmetros de emissão de poluentes.

Neste trabalho, o cálculo de dispersão de poluentes foi efectuado com base nas duas últimas opções: 1) através do número de veículos foi atribuído nível de emissão segundo HEABF; 2) são atribuídos directamente os níveis de emissão, no presente caso, provenientes do modelo CORINAIR. A seguir são caracterizadas cada uma dessas duas opções.

Número de veículos por hora, fazendo a diferenciação dos períodos do dia (dia e noite)

O CadnaA-APL apresenta uma opção para atribuir as horas do início e fim de cada período do dia. No presente trabalho foram considerados dois períodos durante um dia - dia e noite; representados por D e N respectivamente. O período de dia compreende-se das 7h às 22h e o período da noite das 22h às 7h, conforme mostra a Figura 3.15.

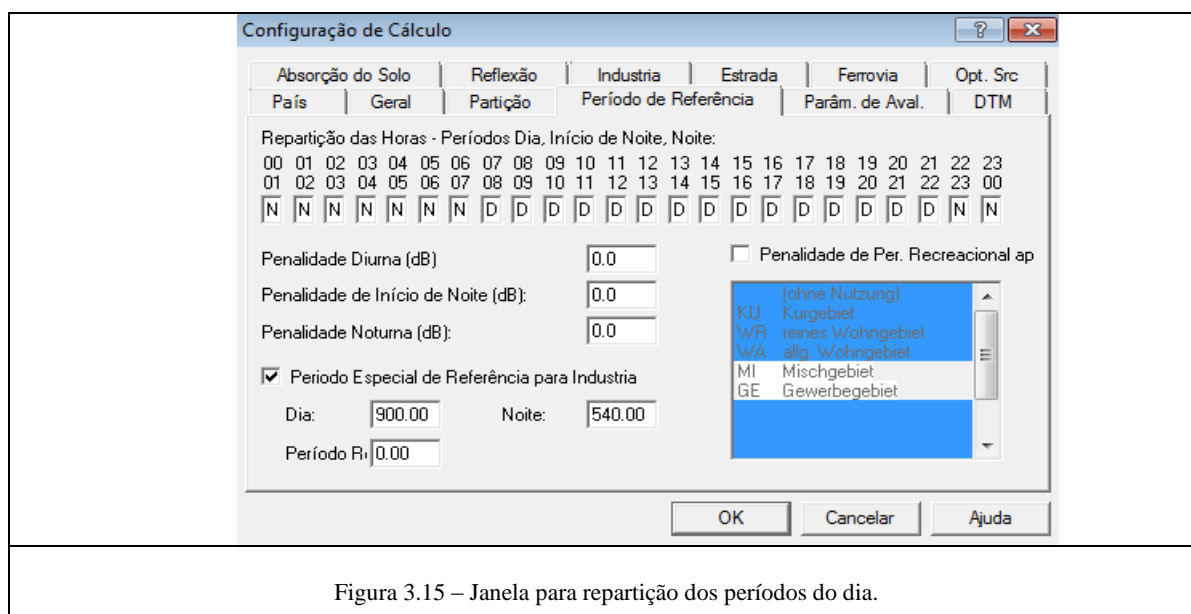


Figura 3.15 – Janela para repartição dos períodos do dia.

A contagem foi feita para cada período em estudo. Para cada período foi calculada a percentagem dos veículos pesados correspondente. Tendo em conta a necessidade de a introdução do número de veículos por hora em cada período de referência, foi considerado que o número de veículo é igual para todas as horas do mesmo período, conforme mostra a Figura 3.16.

Rota (NMPB)

Nome:

☒ ID:

SCS/Dist. (m):

Emissão:

☐ Contagem, MDTD:

☒ Contagem exata dos Dados:

Número de Veículos/Hora Q:

D: E: N:

Porcentagem veículos pesados p (%):

D: E: N:

☐ Emissão Law' dB(A)

D: E: N:

Limite de Velocidade (km/h):

Auto: ☒ Caminh:

Superfície da Estrada:

Fluxo do:

Gradiente da Estrada: Ent

Tipo da Estrada:

OK Cancelar

Geometria... Ajuda

Figura 3.16 – Janela para introduzir número de veículos por hora e percentagem do veículos pesados.

Parâmetros de emissão de poluentes

O CadnaA-APL tem uma opção que permite ao utilizador definir os parâmetros de emissão de poluentes. Na primeira parte deste estudo foram calculada as emissões de poluentes através do modelo CORINAIR. A opção de utilizar os parâmetros de emissão de poluentes permitiu utilizar os resultados de cálculos obtidos através do CORINAIR, ao em vez de se utilizar níveis de emissão estimado pelo HBEFA.

A Figura 3.17 mostra a janela onde pode ser introduzido os parâmetros de emissão de poluentes, no caso de utilizar os valores calculados através do CORINAIR.

A utilização desses dois métodos permitiu fazer comparação entre o modelo CORINAIR e HBEFA. Esta comparação é descrita no capítulo seguinte.

Emissão de Poluentes

☐ Calc. à partir dos parâmetros de estradas

Emissão por hora

Tempo	nox g/km	no2 g/km	no g/km	pm-2 g/km	bzl g/km	so2 g/km
00-01	74.296	17.212	55.089	8.435	0.000	0.000
01-02	40.836	9.600	31.508	3.976	0.000	0.000
02-03	53.972	10.937	44.686	4.488	0.000	0.000
03-04	77.118	14.443	65.526	6.050	0.000	0.000
04-05	100.264	17.949	86.366	7.611	0.000	0.000
05-06	145.953	25.617	123.461	23.735	0.000	0.000
06-07	251.759	44.382	203.902	32.215	0.000	0.000
07-08	475.605	79.975	381.688	37.046	0.000	0.000
08-09	621.100	100.122	503.461	49.459	0.000	0.000
09-10	575.397	90.865	471.138	47.811	0.000	0.000
10-11	532.082	83.806	437.989	44.145	0.000	0.000
11-12	531.010	87.304	432.778	42.860	0.000	0.000
12-13	530.104	91.159	423.619	42.580	0.000	0.000
13-14	524.662	92.320	415.291	42.063	0.000	0.000
14-15	548.469	104.045	429.882	44.599	0.000	0.000
15-16	673.692	132.859	524.589	55.472	0.000	0.000
16-17	854.336	158.086	674.403	65.732	0.000	0.000
17-18	910.376	155.646	733.263	66.319	0.000	0.000
18-19	713.242	121.133	576.054	51.938	0.000	0.000
19-20	472.282	82.704	374.422	37.937	0.000	0.000
20-21	362.529	63.493	283.640	34.558	0.000	0.000
21-22	286.594	53.503	220.929	29.930	0.000	0.000
22-23	217.902	44.207	165.306	24.510	0.000	0.000
23-00	146.531	31.695	109.803	17.071	0.000	0.000

OK

Cancelar

Ajuda

Pastel!!!

Figura 3.17 – Janela para introduzir os parâmetros de emissão de poluentes.

3.4.5 *Dados Meteorológicos*

O ficheiro meteorológico criado para o presente estudo é um ficheiro diário, que foi criado de acordo com o descrito na secção 3.4.2.

Os dados da direcção e velocidade dos ventos foram obtidos através da estação meteorológica instalada na zona de estudo (ver Figura 3.1)

Os dados da direcção e velocidade dos ventos têm de estar em %/10 e knots (1 knot = 0,514 m/s) respectivamente. Neste sentido, os dados da estação meteorológicos foram convertidos, tendo em conta que a velocidade é dada em m/s e a direcção em graus (°).

A estação meteorológica, em alguns dias, apresentava como resultado da medição da velocidade e direcção do vento “zero” para todas as horas desses dias. Devido a este problema, só foi possível criar ficheiros meteorológicos para dois dias, quinta e sexta-feira. Foi considerado que o ficheiro do vento da quinta-feira era igual à da segunda, terça e quarta-feira e, para sábado e domingo foi utilizada o ficheiro da sexta-feira.

A Figura 3.18 mostra o ficheiro dos ventos criado para o dia 25 de Novembro de 2010 (quinta-feira). Como o ficheiro criado é diário existem 24 linhas, cada linha correspondente à uma hora.

O formato do ficheiro meteorológico utilizado no presente estudo é o AKT tendo os dados meteorológicos sido guardados num ficheiro *.akt.

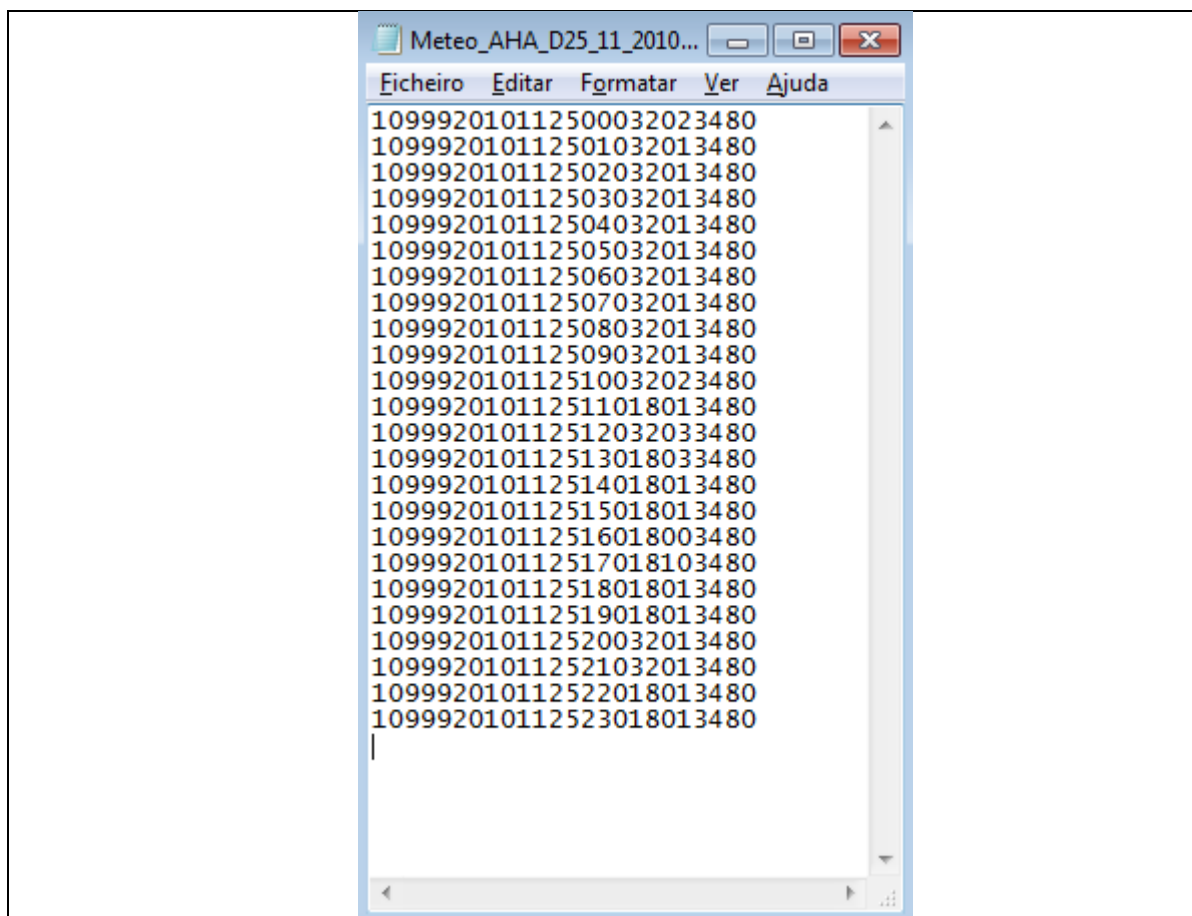
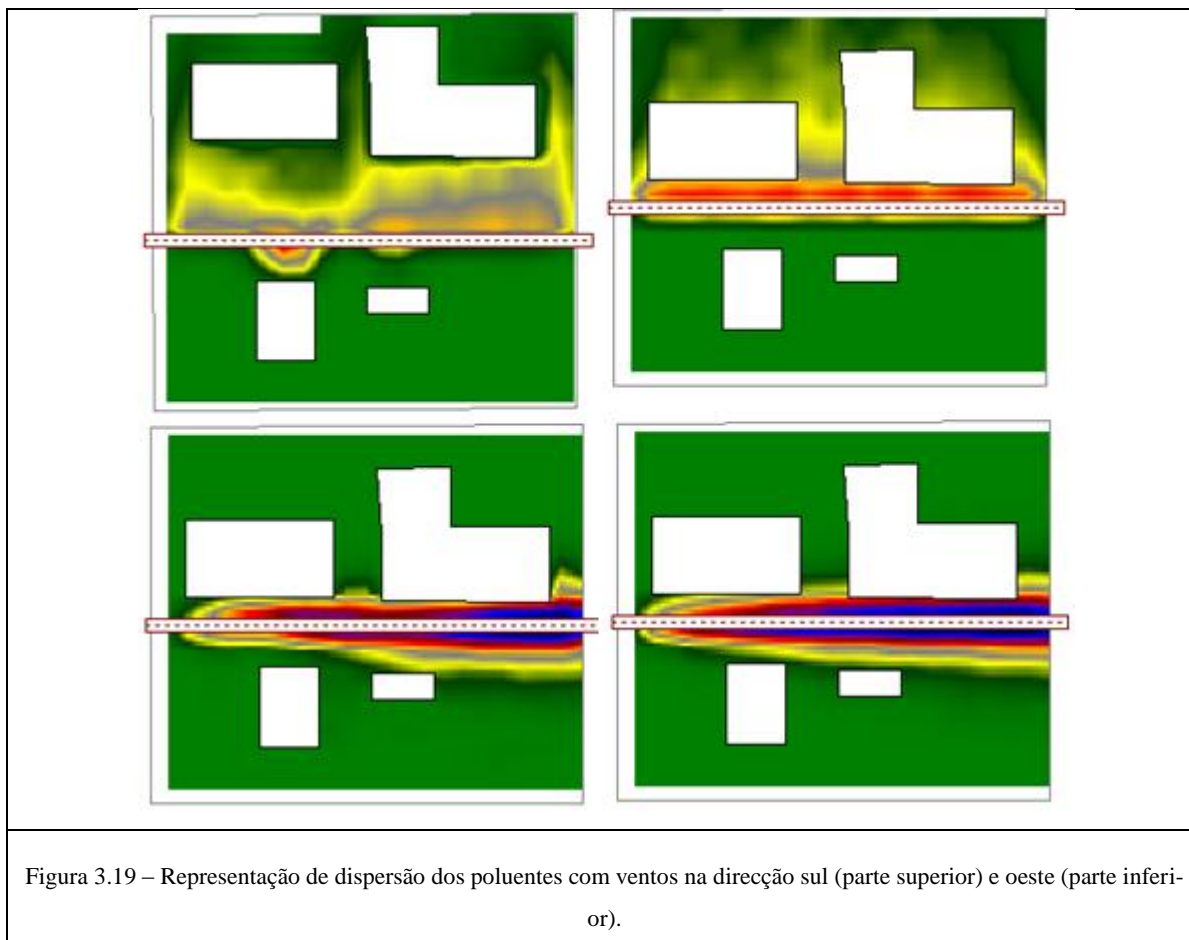


Figura 3.18 – Ficheiro dos ventos para o dia 25 de Novembro de 2010.

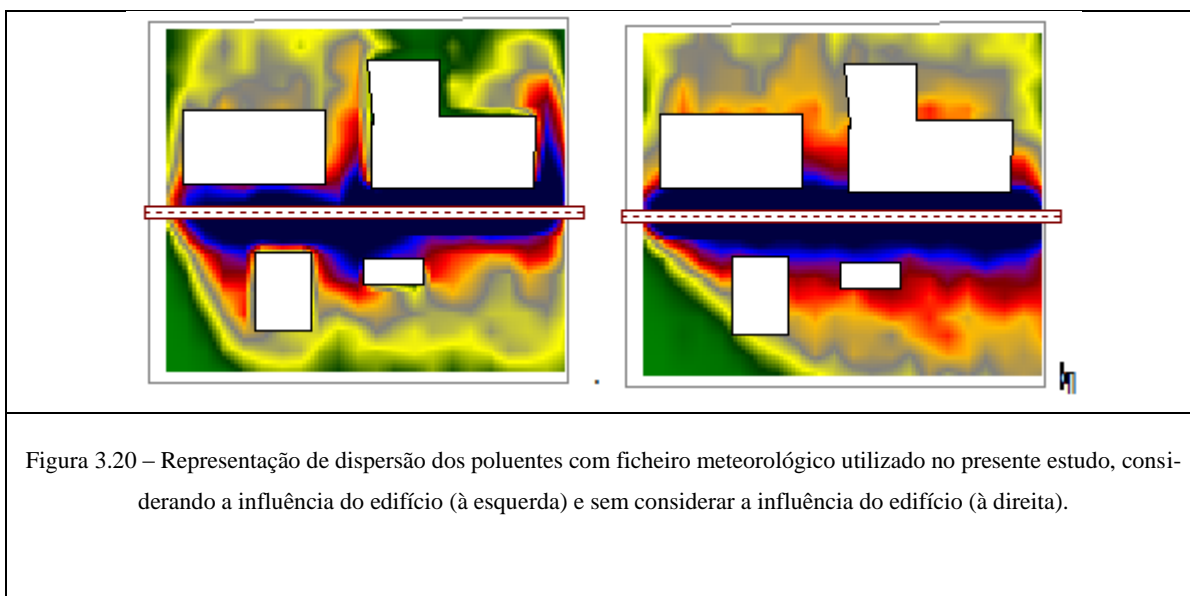
Foram efectuados vários testes de simulação da dispersão de modo a verificar as influências dos ventos na dispersão dos poluentes nos quais foram utilizados vários ficheiros me-

teorológicos com velocidades e direcções de ventos diferentes. A Figura 3.19 mostra um exemplo de dois dos resultados dos testes efectuados.



Na parte superior esquerda da Figura 3.19 encontra-se representada a influência do vento sul considerando a influência dos edifícios, enquanto na parte superior direita da mesma figura se encontra representada a influência do vento sul sem considerar a influência dos edifícios. Ainda na Figura 3.19, na parte inferior esquerda, encontra-se representada a influência do vento oeste considerando a influência dos edifícios, enquanto na parte inferior direita da mesma figura se encontra representada a influência do vento oeste sem considerar a influência dos edifícios.

Pela análise da Figura 3.19 verificou-se que há uma notória diferença de concentração de poluentes em relação à direcção do vento, considerando a mesma velocidade para as duas situações. Para a situação do vento na direcção sul - norte, há uma maior concentração de poluentes na zona norte, enquanto que para a situação do vento oeste - este se verificou uma maior concentração de poluentes na zona este.



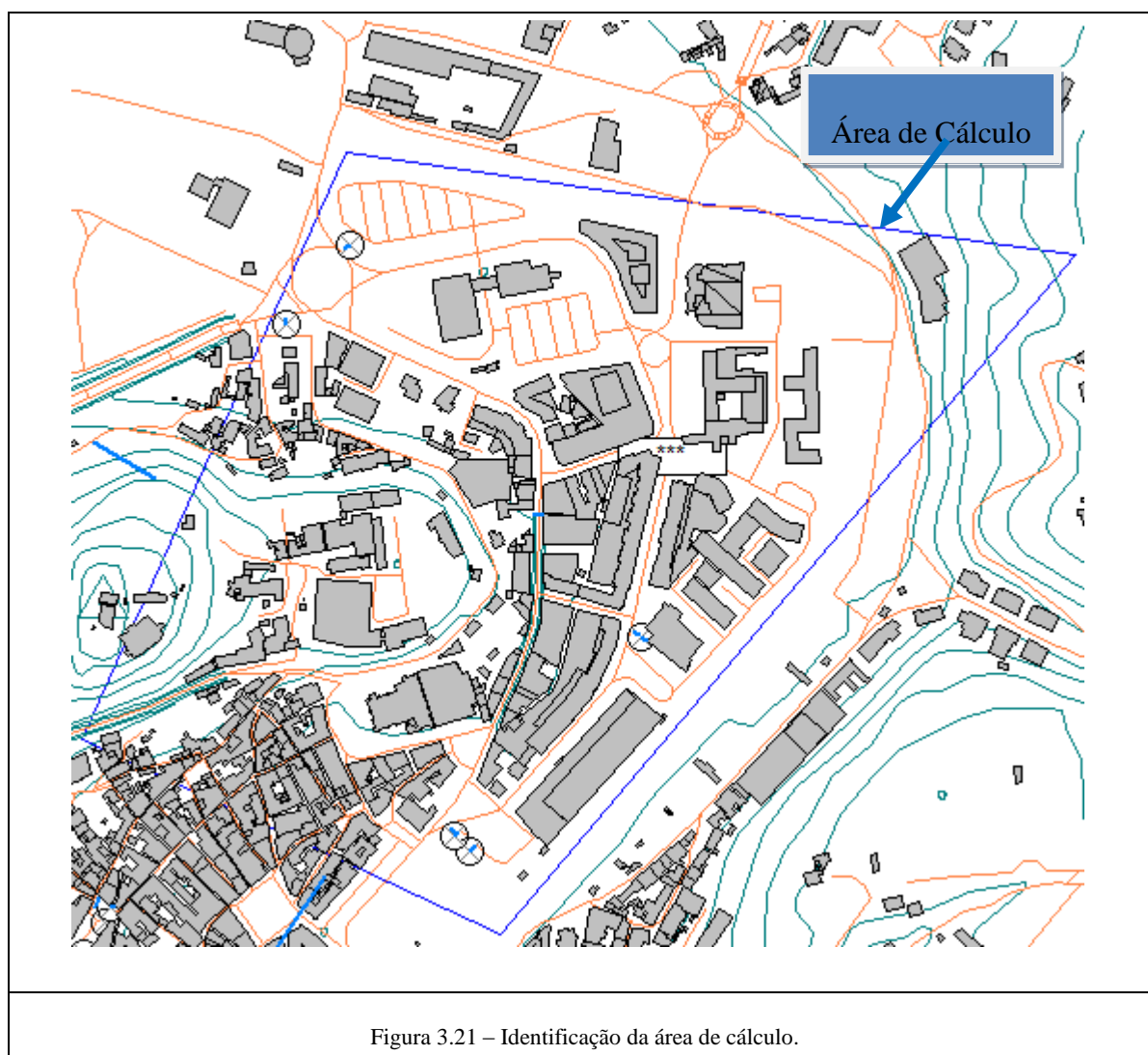
A Figura 3.20 representa a dispersão dos poluentes considerando a influência do edifício (à esquerda) e sem considerar a influência do edifício (à direita).

Nesta situação, como foi utilizado dados meteorológicos reais em que a direcção do vento varia de hora para hora, é notória a dispersão mais distribuída, sem direcção bem definida quando comparado com o exemplo da Figura 3.19. Ainda, na Figura 3.20 está visível a grande diferença na concentração e da consideração ou não dos edifícios, à esquerda da figura vê-se que os edifícios estão a servir de barreira à dispersão de poluentes.

Determinação dos Resultados da Dispersão de Poluentes na Zona de Estudo

Após a configuração e o tratamento dos dados da entrada, foi necessária seleccionar a área de cálculo e a respectiva malha, conforme representada na Figura 3.21. A área de cálculo tem uma área de 322060.74 m², com uma malha de 10x10 (m). Com este tamanho de malha foi garantido que a máxima resolução de pontos da malha não ultrapassassem os 300 por 300 pontos, limite da norma AUSTAL2000 conforme atrás referido.

De seguida foram seleccionados os poluentes à calcular. Os poluentes escolhidos foram NO, NO₂, NO_x e PM-2 (PM₁₀). A escolha destes poluentes deu-se de moda a poder comparar os valores obtidos por este modelo com os obtidos pelo CORINAIR. A Figura 3.17 mostra um exemplo da utilização de níveis de emissão obtidos pelo COPERT 4 no cálculo de dispersão utilizando parâmetros de emissão.



Na Figura 3.22 é apresentado a janela onde podem ser visto os poluentes escolhidos, assim como as outras configurações de poluentes necessárias para os cálculos. Nesta mesma janela pode-se escolher fazer teste incluindo ou não edifícios. Como referido anteriormente, para este trabalho foi feito, para todas as situações, um teste com edifícios e outro sem incluir edifícios. Assim, permitiu verificar o impacto dos edifícios na dispersão de poluentes e comparar com a situação da não existência dos edifícios.

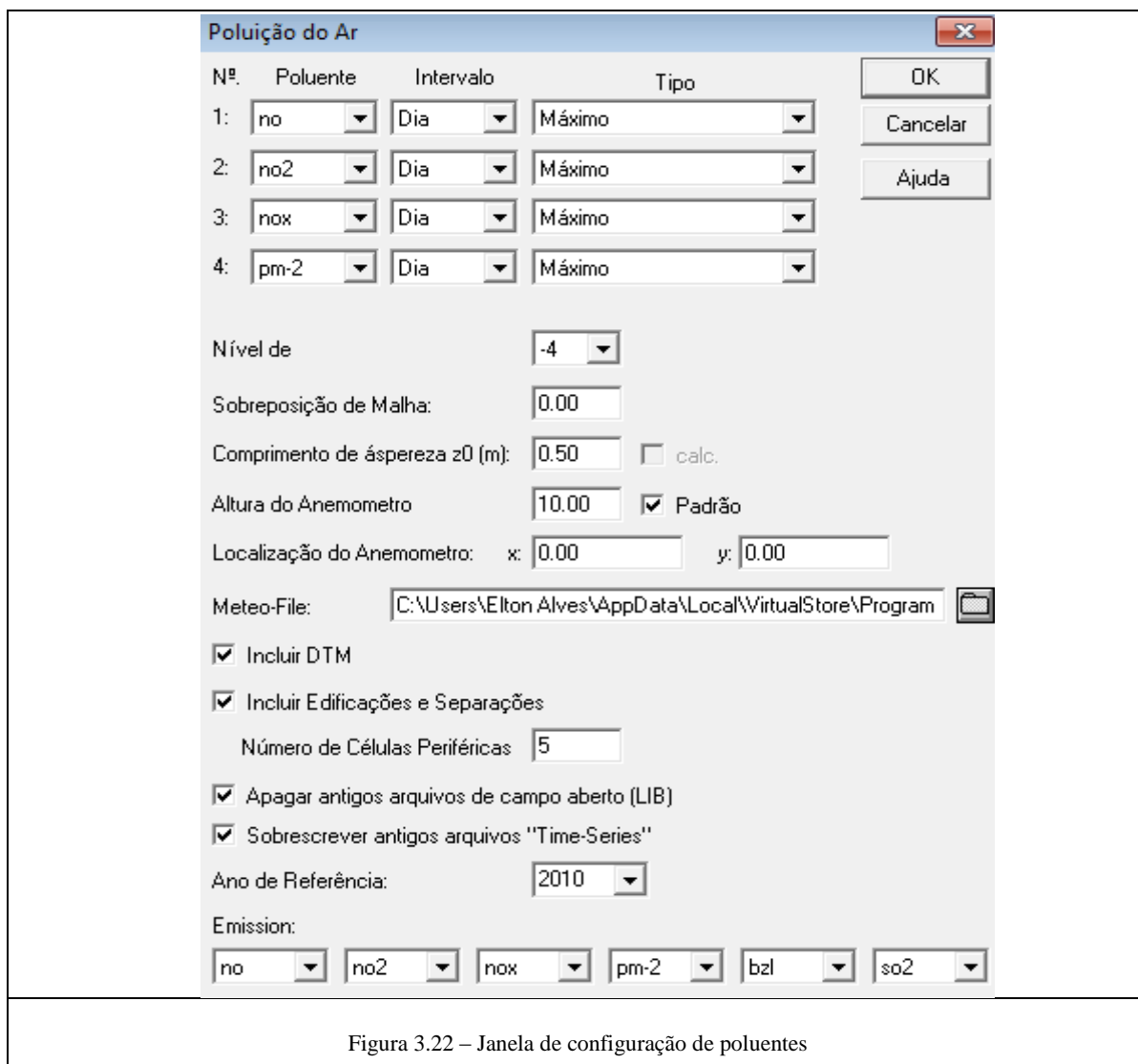


Figura 3.22 – Janela de configuração de poluentes

A Figura 3.22 mostra, ainda, a opção (Meteo-File) que se deve utilizar para carregar o ficheiro com dados meteorológicos utilizado no estudo.

No fim de fazer todas as configurações e introduzir todos os parâmetros necessários efectuaram-se os cálculos da dispersão dos poluentes: NO_x ; NO_2 e PM_{10} .

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

4. Apresentação e Análise de Resultados

4.1 Introdução

No presente capítulo são apresentados e analisados os resultados obtidos no presente estudo, nomeadamente, do tráfego rodoviário e da respectiva emissão e dispersão de poluentes.

4.2 Análise do Tráfego

Conforme descrito na secção 3.3.2, o registo do tráfego foi realizado em 5 dias da semana (segunda, quinta e sexta feira, sábado e domingo). Assumiu-se que o comportamento seria idêntico para os três dias úteis da semana (terça, quarta e quinta feira).

4.2.1 Evolução do Tráfego

A Figura 4.1 mostra a evolução do volume total de tráfego automóvel diária dos 5 dias da semana analisados. De modo a evidenciar a diferença da evolução dos vários dias em análise, optou-se por mostrar os gráficos da evolução diária do tráfego sobrepostos. No entanto, no anexo VIII podem ser consultados os gráficos diários de todos os dias analisados.

Pela análise da Figura 4.1 verifica-se que o perfil da evolução diária do tráfego entre os dias úteis da semana (segunda, quinta e sexta-feira) não varia muito, assim como o total de veículos diários. Da parte de manhã a semelhança é mais evidenciada devido ao facto de ser o início do horário laboral normal. O sábado e o domingo apresentam um menor volume de tráfego, por serem dias de muito pouca ocorrência de actividades laborais no CBD.

Sexta-feira é o dia que apresenta maior volume de tráfego rodoviário, apresentando um picos no período da manhã entre às 8h30 e às 9h30. No período da tarde tem-se também

um pico entre às 16h30 e às 18h30, esse pico se deve, principalmente ao facto de se aproximar o fim de semana.

A partir das 20h30, a afluência de tráfego sofre uma diminuição muito acentuada, visto tratar-se da hora de fecho do comércio da zona. No entanto, neste horário, a Sexta-feira e ao Sábado são excepções, apresentando um aumento do tráfego em relação aos restantes dias. Isto fica a dever-se a alguns eventos culturais realizados na zona, nomeadamente no teatro José Lúcio da Silva e nos bares e discotecas existentes na zona. A partir desta hora, o número de veículos sofre uma diminuição menos acentuada, dado o movimento característico da diversão nocturna.

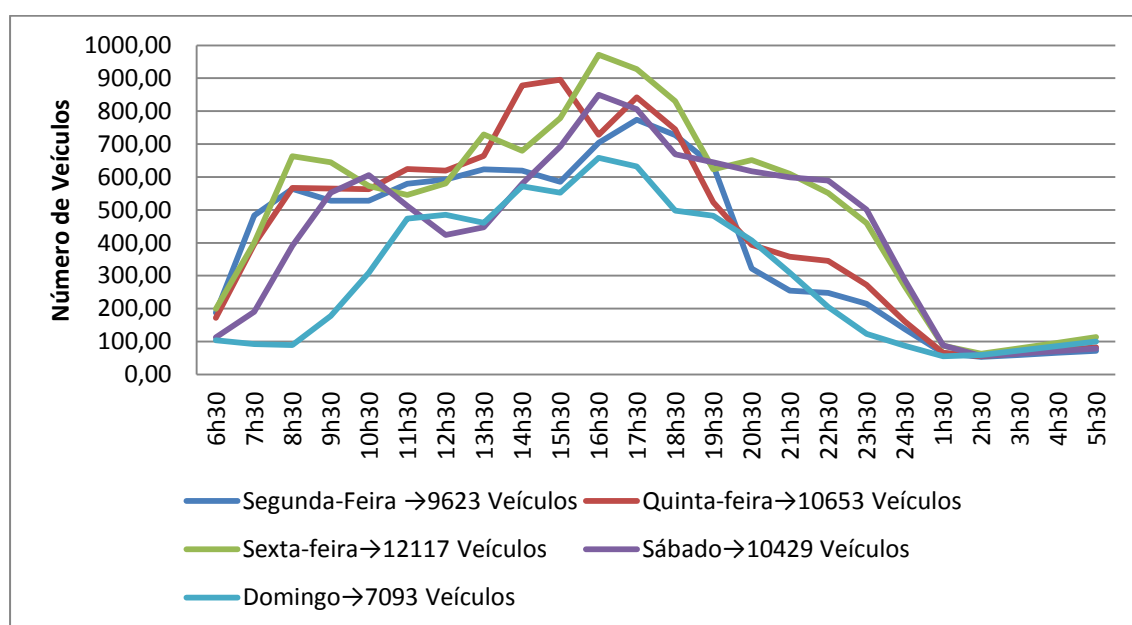


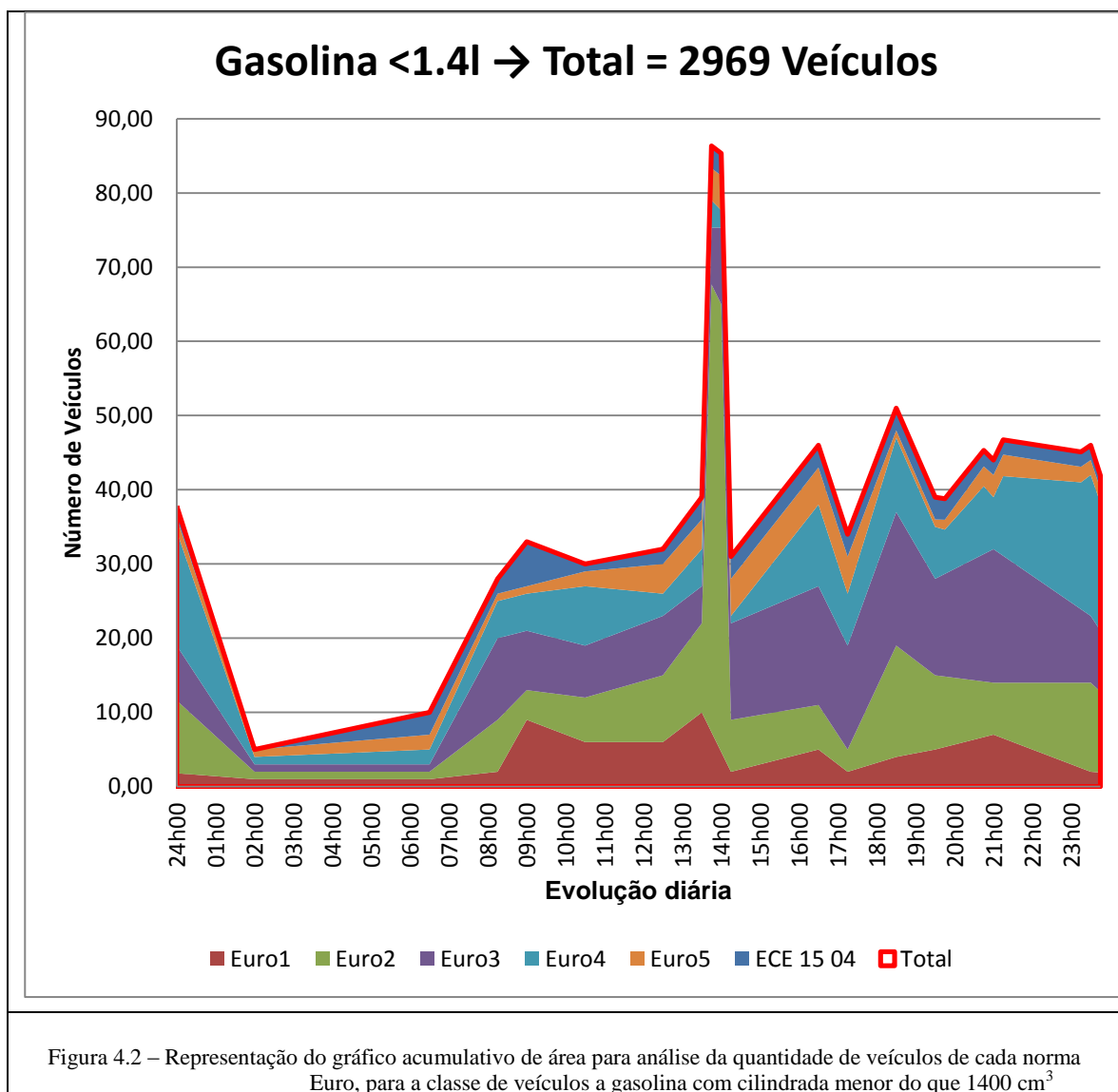
Figura 4.1 – Representação gráfica da evolução diária do tráfego automóvel dos 5 dias da semana analisados.

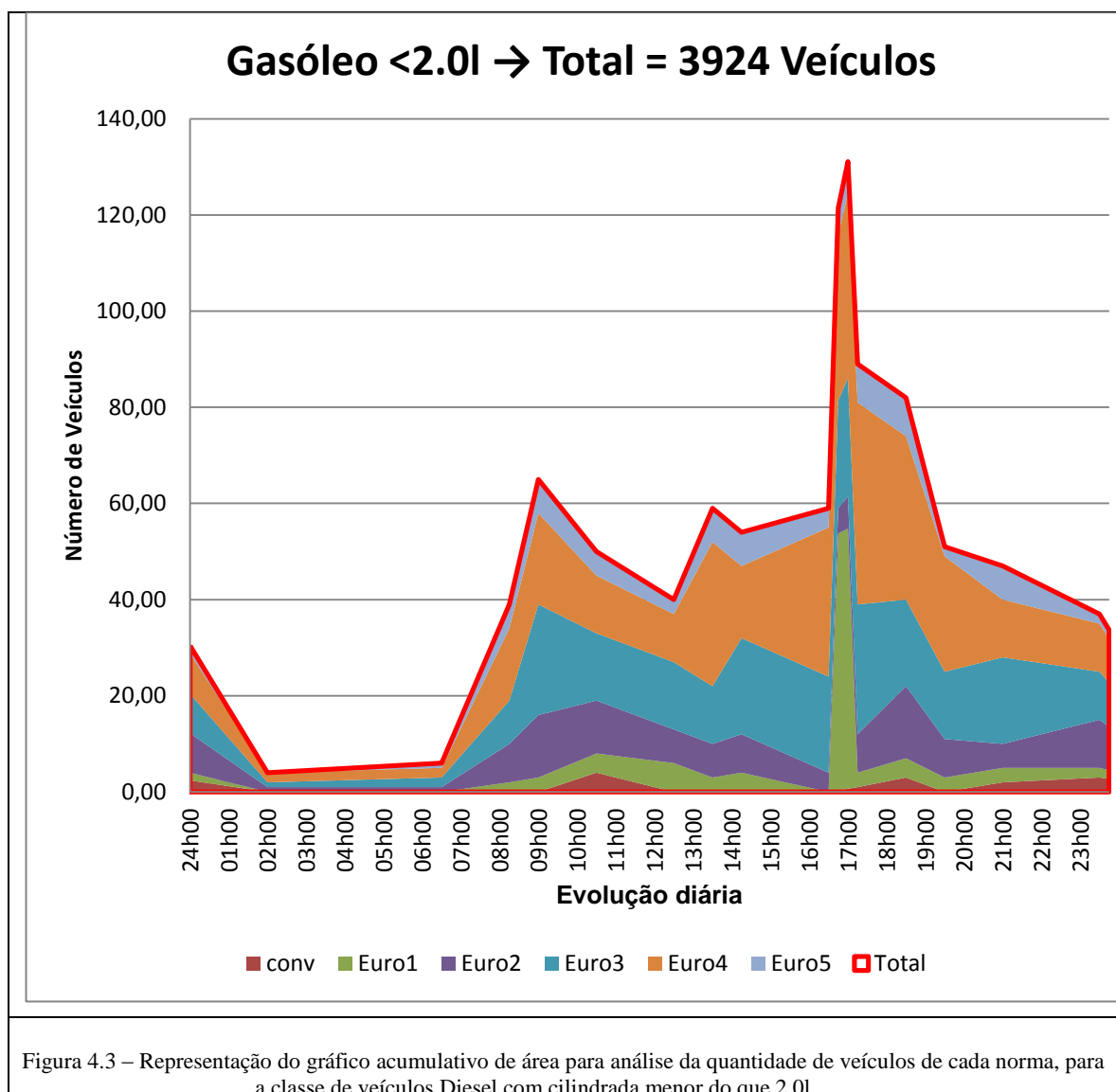
4.2.2 Caracterização e análise das Frotas

Para caracterização e análise da frota foi escolhido o dia de Sexta-feira, visto tratar do dia com o maior número de amostra. Optou-se por fazer caracterização e análise para duas classes de veículos: veículos a gasolina com cilindrada inferior a 1400 cm³ e veículos Diesel com cilindrada inferior a 2000 cm³.

A Figura 4.2 mostra o gráfico acumulativo de área para a análise da quantidade de veículos de cada norma Euro, para a classe de veículos a gasolina com cilindrada menor do que 1400 cm³. Pela análise da figura é possível verificar a predominância dos veículos a gasolina com cilindrada inferior a 1400 cm³ que cumprem a norma Euro 3. Seguido imediata-

mente atrás, pelos veículos respeitantes da norma Euro 2. Em terceiro lugar estão os veículos afectos à Euro 4. Sendo a diferença entre estes apenas de cerca de uma centena. Estes tipos de veículos são normalmente, os veículos de eleição para a condução citadina.





Na Figura 4.3 é possível verificar a predominância dos veículos das normas Euro 3 e Euro 4; sendo que os veículos da Euro 4 são superiores aos da Euro 3 em duas centenas.

No que toca aos veículos pesados de passageiros, de notar que os veículos expressos (autocarros de longo curso) são, na sua maioria, da norma Euro 4, havendo ainda alguns referentes à norma Euro 3 e já se nota a renovação da frota com os veículos mais recentes respeitantes da norma Euro 5.

Os veículos pesados de passageiros urbanos (autocarros de curso citadino ou rural) estão divididos da seguinte forma: cerca de metade é respeitador da Euro 1, dois terços da outra metade é conforme a norma Euro 2, sendo o restante terço ocupado por veículos convencionais (não abrangidos pelas normas Euro).

Os minis autocarros, que executam o circuito citadino criado na cidade, são respeitantes da norma Euro 5 na sua maioria, havendo ainda alguns respeitantes apenas da norma Euro 4.

4.3 *Análise de Emissão de Poluentes*

Na análise de emissão de poluentes foram tidos em conta as duas condições de condução consideradas no presente trabalho (arranque a frio e emissões a quente). Como referido na secção 3.4.1, o percurso percorrido pelos veículos foi considerado 100% urbano. A condução urbana é a mais provável para se ter as emissões a frio. No entanto, neste estudo não se têm dados concretos da quantidade de veículos que iniciam a viagem no local de estudo (arranque a frio). As concentrações de muitos poluentes durante o período de arranque a frio são superiores às emitidas durante o funcionamento a quente. Deste modo, do total de veículos em circulação, consideraram-se diferentes hipóteses: 100% de emissão a quente e 25, 50, 75, e 100% de veículos circulam após arranque a frio

4.3.1 *Emissão em Arranque a Frio*

A Figura 4.4 mostra o gráfico da comparação do volume total de emissões, durante o período em estudo (uma semana), de vários poluentes em função da percentagem de veículos a circular após arranque a frio. A escala da barra a traço interrompido encontra-se no eixo das ordenadas da direita.

Pela análise da Figura 4.4, verifica-se que todos os poluentes aumentam à medida que a percentagem de veículos a circularem logo após o arranque a frio aumentam. Quando se comparam as concentrações entre as situações extremas (100 % de emissão a quente e 100% de emissão a frio), verifica-se que as concentrações de emissões 100% a frio são muito superiores à circulação a quente. A concentração de CO, por exemplo, é 4,24 vezes superior na situação de 100% de emissão a frio. Esta situação justifica-se pelo facto de o catalisador ainda não ter atingido a temperatura que promove as reacções químicas de oxidação e redução, que transformam os poluentes nocivos em gases inofensivos, sendo os gases resultantes da combustão libertados “directamente” para a atmosfera.

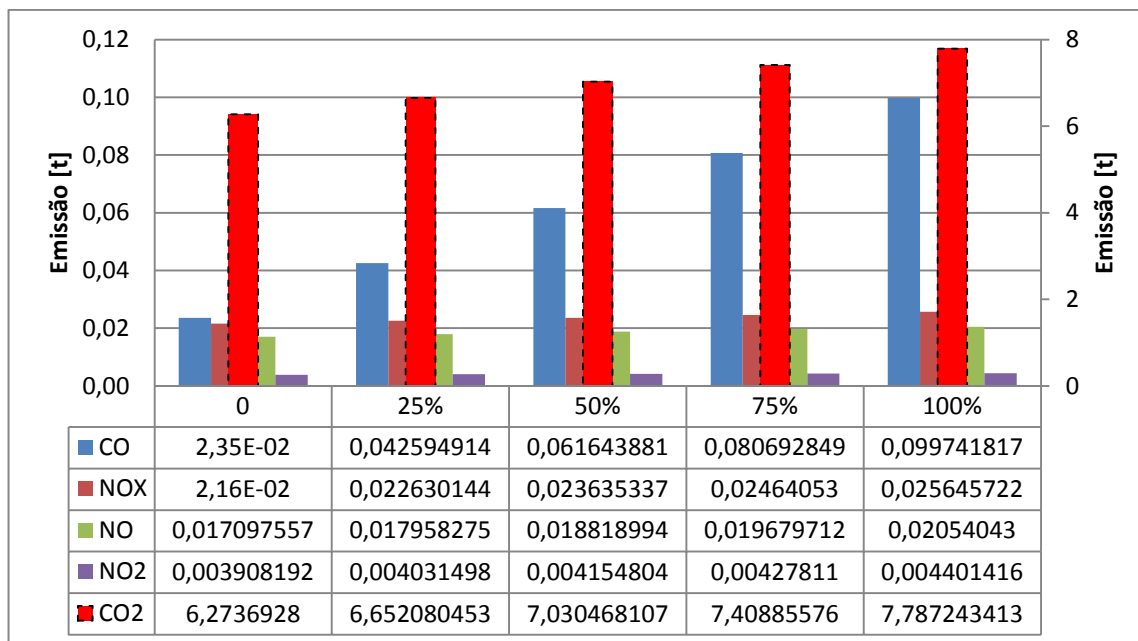


Figura 4.4 – Representação gráfica da comparação de total de emissões de vários poluentes em função da percentagem de veículos a circular após arranque a frio.

4.3.2 Emissões Diárias

Para o cálculo das emissões diárias no programa de simulação de emissões (COPERT 4 – descrito no capítulo 3), decidiu considerar-se que no total de veículos diários que circulam na Avenida, 25 % desses veículos iniciaram as suas viagens no local de estudo, ou seja 25% de total dos veículos emitem 100% a frio.

Assumida esta hipótese, na Figura 4.5 mostram-se os resultados diários da concentração dos vários poluentes calculados a partir do CORINAIR durante os dias de referência em estudo, ou seja, sábados, domingos, 2ª feira, 6ª feira e restantes dias úteis. Uma vez que, conforme atrás ilustrado (ver Figura 4.1), a 6ª feira é o dia de maior volume de tráfego, tal como seria de esperar é neste dia que todos os poluentes representados apresentam uma maior concentração em relação aos outros dias da semana. Ou seja, as concentrações de emissões seguiram a evolução do tráfego, tendo, em geral, registado maior concentração de poluentes nos dias com maior tráfego

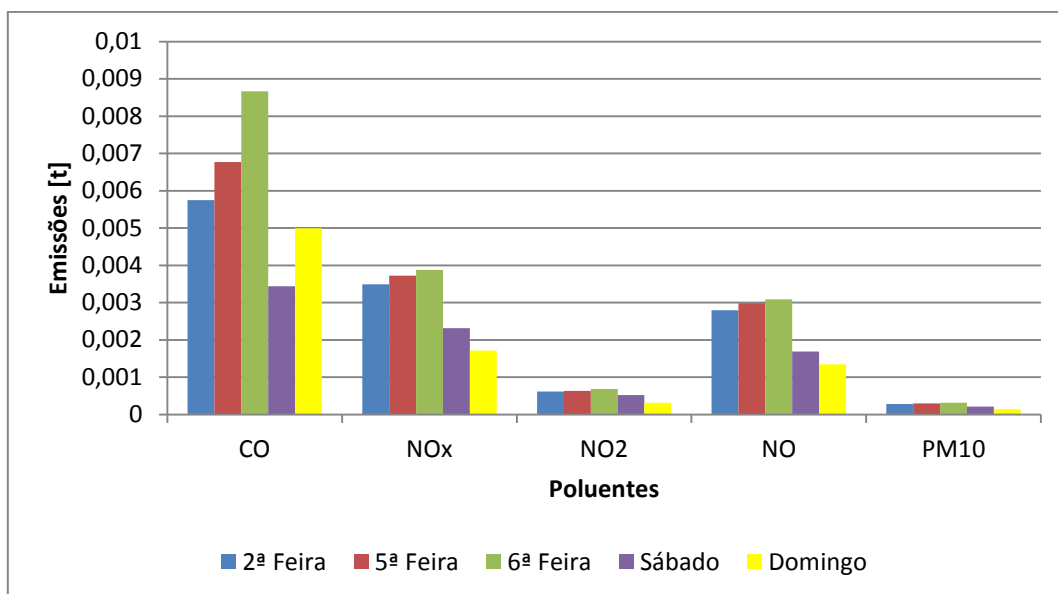


Figura 4.5 – Representação gráfica da comparação de total das emissões diárias.

De análise da Figura 4.5 pode ainda verificar-se que a concentração de CO ao domingo é superior ao sábado, apesar de domingo ter menos tráfego do que outros dias analisados. Este facto pode justificar-se com o que está descrito no capítulo da Revisão Bibliográfica, secção 2.3.2: os MCI de ignição por faísca utilizam misturas ricas no arranque ou em condições de cargas elevadas, Turns (2000). Neste dia, domingo, a maioria dos tráfegos corresponde a veículos com MCI de ignição por faísca, situação que provoca uma maior emissão de CO. Acresce ainda que, o facto de muitos dos veículos a circularem nesse dia serem de anos de fabrico mais antigos, e portanto enquadráveis em normas mais antigas, implica uma maior emissão de CO destes veículos.

O sábado apresenta uma menor concentração de poluentes em relação a segunda-feira, apesar de sábado ter maior número de tráfego. Isto justifica-se com o facto de muito dos veículos utilizados nesse dia serem de ano de fabrico mais modernos que estão de acordo com a norma Euro mais recente.

4.4 *Análise de Dispersão de Poluentes*

Para o cálculo da dispersão de poluentes a partir da norma AUSTAL2000, consideraram-se valores de emissão (dados de entrada) calculados por dois métodos distintos:

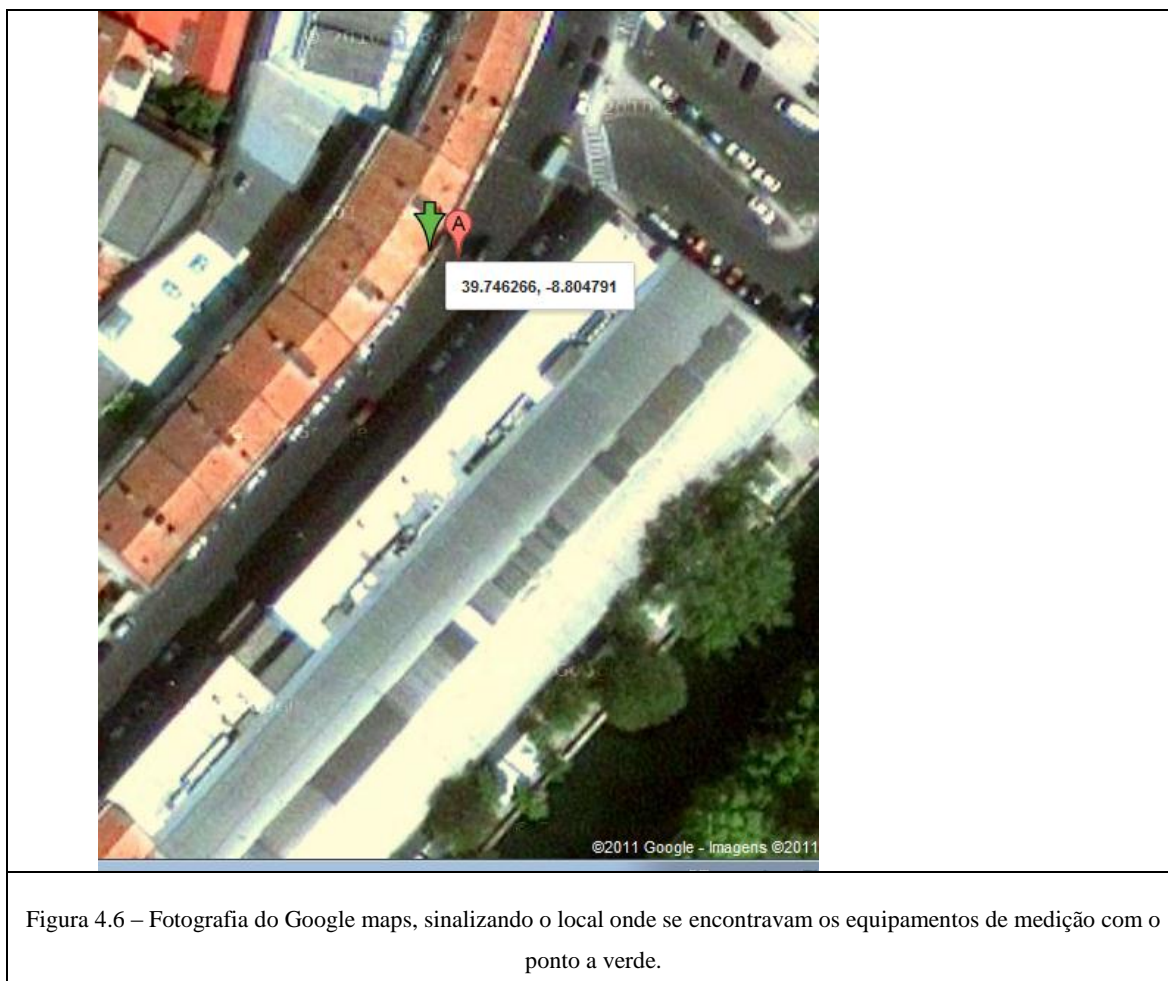
- 1) HBEFA

2) COPERT 4

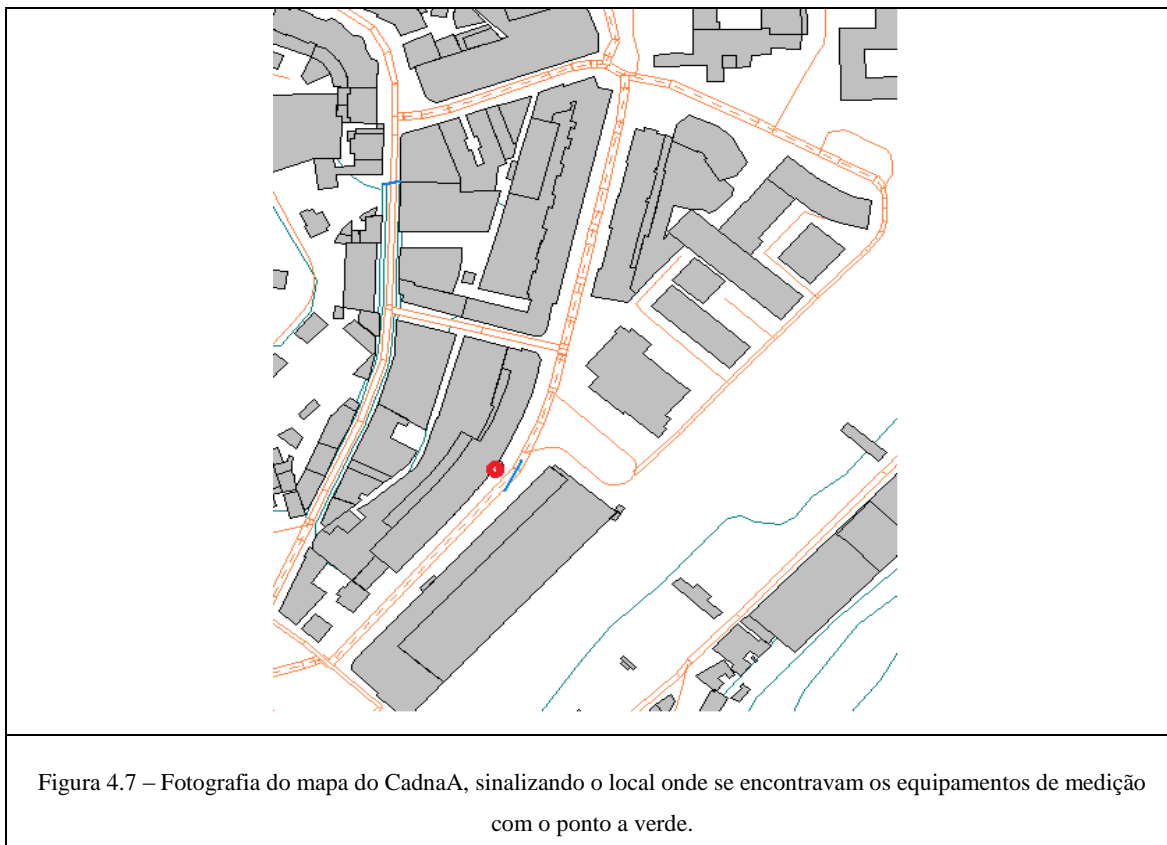
Para o primeiro, conforme atrás descrito, tiveram-se em conta os valores do volume de tráfego sendo os respectivos valores de emissão calculados de acordo com o *Handbook HBEFA*

Para o segundo, conforme descrito na secção 3.4.3, tiveram-se em conta o número de veículos por: classe, combustível, cilindrada, peso e a norma Euro a que respeita, sendo os respectivos valores de emissão calculados de acordo com o modelo CORINAIR.

Para todos os casos considerados em cada um dos dois métodos, efectuaram-se testes da influência da consideração, ou não, dos edifícios. Optou-se por apresentar e analisar neste texto os resultados da dispersão de poluentes para a sexta-feira, por se tratar do dia com o maior tráfego rodoviário. Os resultados do cálculo de dispersão dos outros dias analisados encontram-se em anexo – Anexo IX.

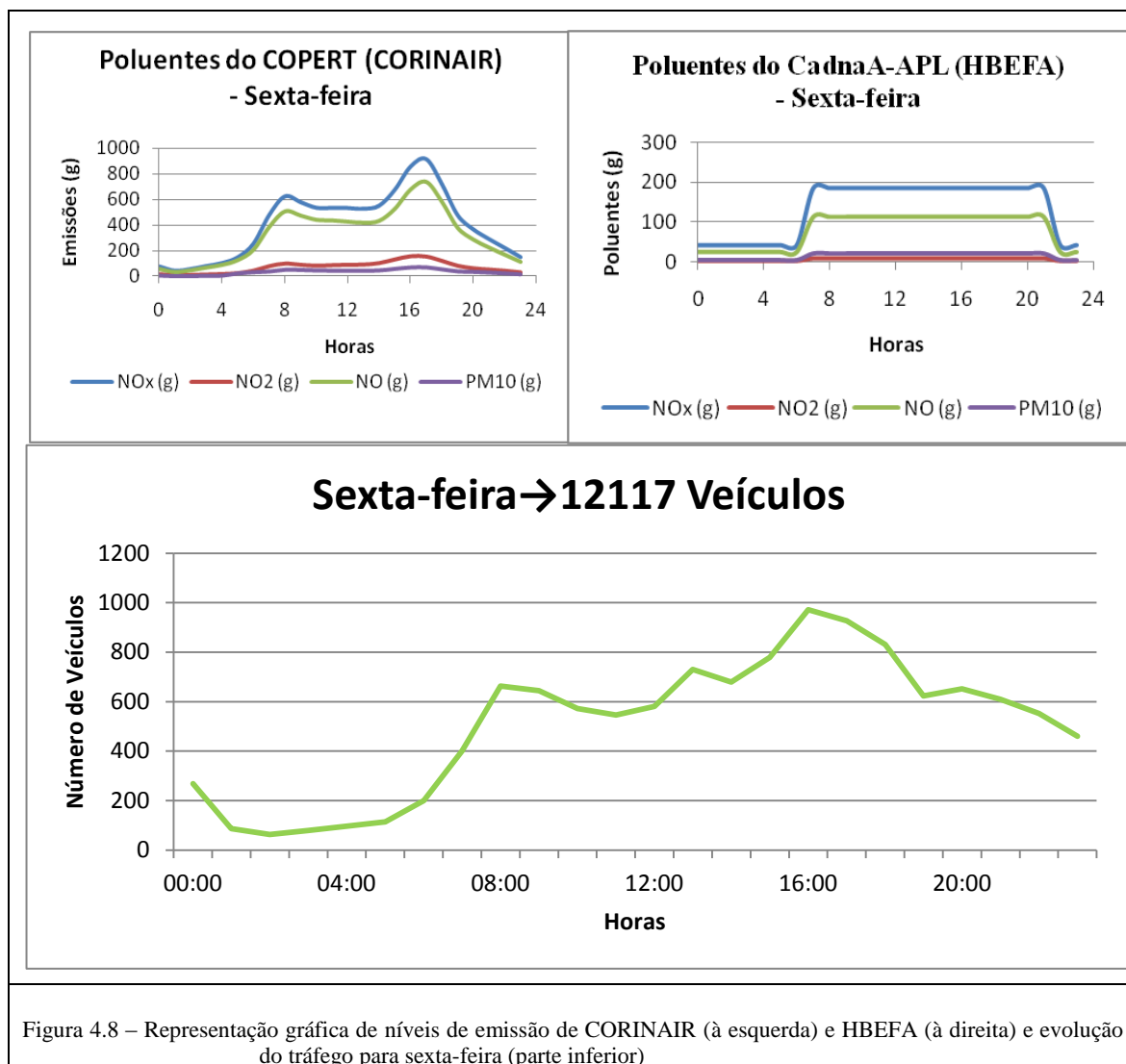


Mediram-se concentrações (já referidas atrás) num local determinado (ver Figura 4.6) precisamente para aferir os dados modelados pelo modelo de emissão e, consequentemente, de dispersão. Após modelação da dispersão, compararam-se os resultados no ponto correspondente ao local das medições (ver Figura 4.7).



4.4.1 *Comparação CORINAIR vs HBEFA*

A Figura 4.8 mostra a representação gráfica das emissões calculadas pelos modelos CORINAIR (à esquerda) e HBEFA (à direita) para a sexta-feira, bem como a evolução do tráfego respeitante ao mesmo dia (parte inferior). Pela análise comparativa entre os dois modelos de cálculos de emissão representadas na Figura 4.8 permitiu verificar que o perfil de emissões do CORINAIR está directamente relacionado com o perfil do tráfego rodoviário, ou seja, o perfil das curvas de níveis de emissão são idênticas ao perfil do tráfego o que não acontece com o HBEFA. Isto acontece muito por causa do modo como os dados de tráfego são introduzidos no caso do HBEFA e o modo como estes mesmos dados de tráfego foram usados no CORINAIR para calcular as emissões horárias.



O modelo HBEFA calcula as emissões de acordo com o volume de tráfego global e a respectiva velocidade média.

No caso do presente trabalho foram definidos dois períodos do dia (dia e noite), sendo que o período do dia compreende-se das 7h às 22h e o período da noite das 22h às 7h. Ou seja, pelo gráfico à direita da Figura 4.8, pode verificar-se que o HBEFA define praticamente dois valores de emissão, sendo o período de dia com maior concentração de emissão em relação ao período da noite.

Ainda pela análise da Figura 4.8. pode verificar-se que, comparativamente, os valores da emissão do CORINAIR são superiores à do HBEFA para todos os períodos do dia analisados.

4.4.2 Dispersão de NO_x

As Figuras 4.9 e 4.10 apresentam os resultados de dispersão de NO_x utilizando níveis de emissão HBEFA, incluindo a influência dos edifícios e sem incluir a influência dos edifícios, respectivamente. Uma análise comparativa entre as duas figuras, permitiu verificar uma notória diferença da concentração e distribuição de poluente (NO_x) para o mesmo volume de tráfego e o mesmo arquivo meteorológico, como era de esperar de acordo com o exemplo referido no capítulo anterior (ver Figura 3.19).

Na Figura 4.9, onde é considerada a influência dos edifícios, pode observar-se que a dispersão do poluente concentra-se principalmente junto à estrada, entre os edifícios, um pouco diferente daquilo que se verificou quando não se considerou a influência dos edifícios (Figura 4.10). Nesta situação verificou-se uma maior dispersão de poluentes por área.

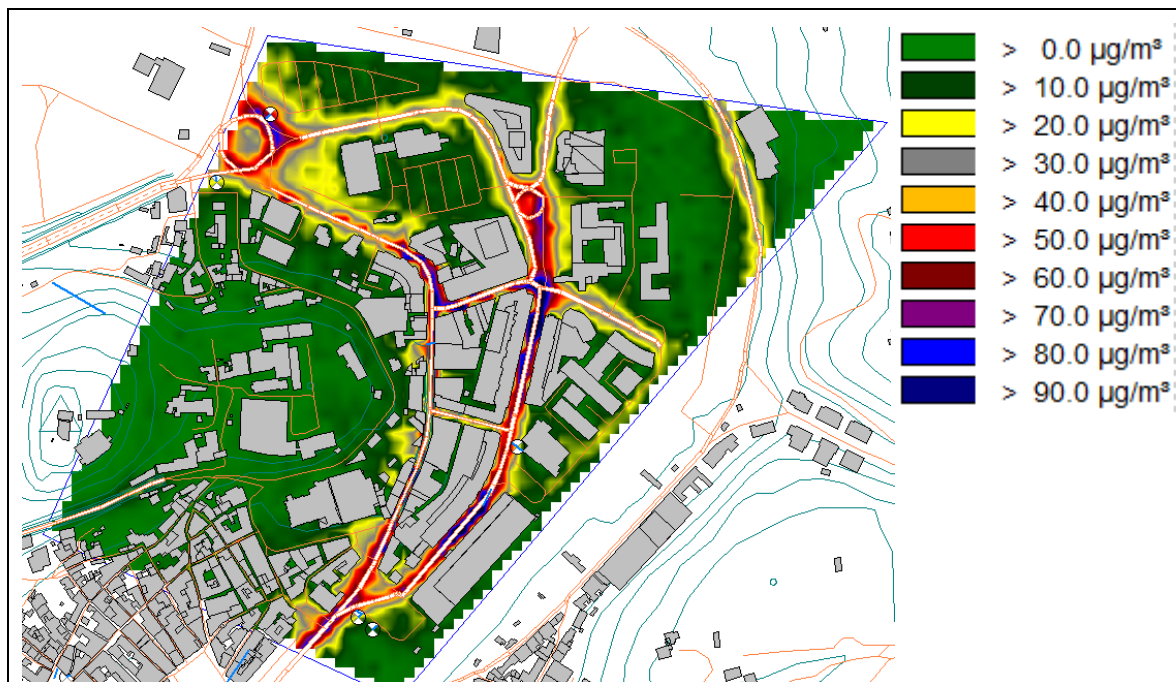
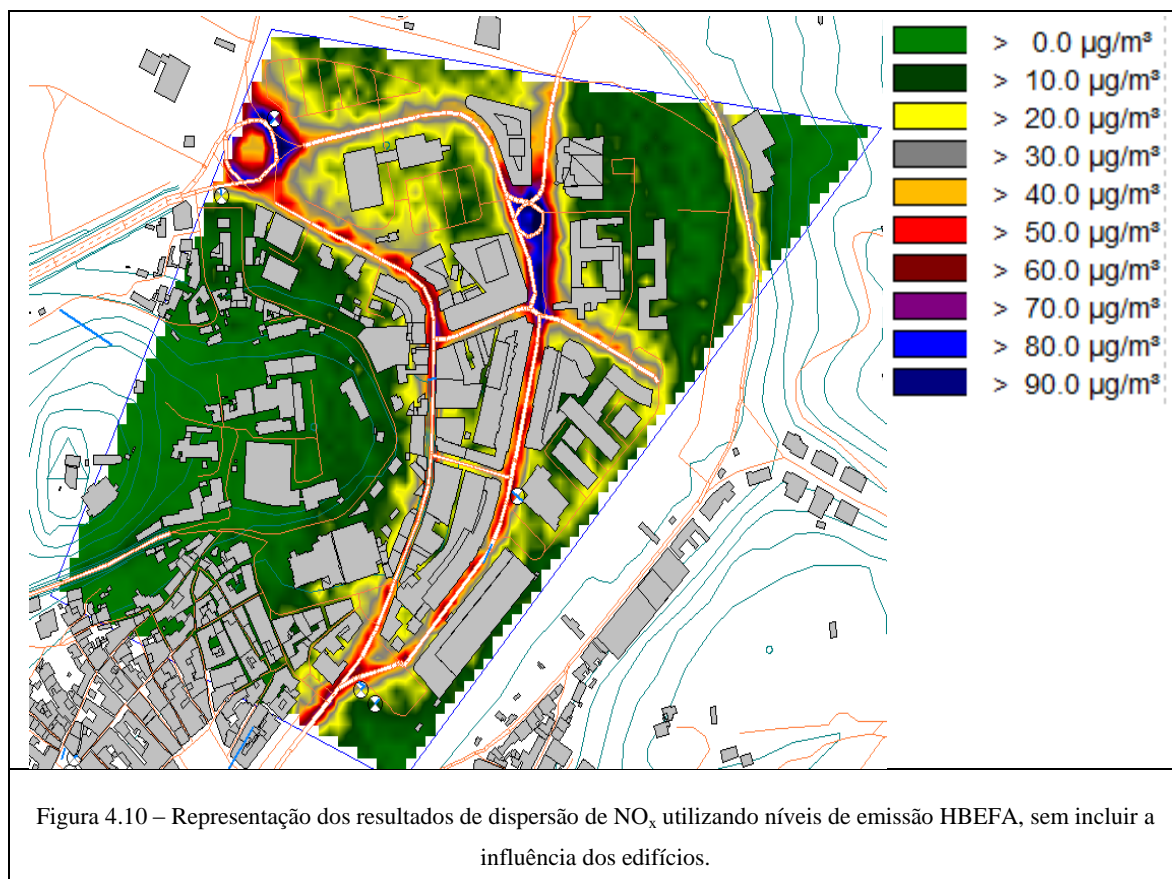


Figura 4.9 – Representação dos resultados de dispersão de NO_x utilizando níveis de emissão HBEFA, incluindo a influência dos edifícios.

Quando se compararam os valores das concentrações de NO_x detectadas nas duas situações verificou-se que os valores obtidos foram superiores para a situação onde foi considerada a influência dos edifícios. Para a situação da Figura 4.9 foi obtido uma média diária de 55 µg/m³, enquanto que para situação da Figura 4.10 registou-se 32 µg/m³. A utilização dos edifícios funcionando como obstáculos e não facilitando a deslocação dos poluentes, permite que os poluentes permaneçam principalmente junto ao local da sua fonte, ao contrário

do que se verificou quando não se considerou a influência dos edifícios, o vento transporta os poluentes sem obstáculo dos edifícios permitindo uma distribuição maior de poluentes.

A Figura 4.9, mostra uma maior concentração de NO_x ao longo de toda a Avenida, situação que se justifica pelo aquilo que já foi dito anteriormente, os edifícios funcionam como obstáculos.



A Figuras 4.11 apresenta o resultado de dispersão de NO_x utilizando níveis de emissão de CORINAIR, incluindo a influência dos edifícios.

Uma análise comparativa entre a situação anterior (Figuras 4.9, utiliza níveis de emissão HBEFA) e a Figuras 4.11 (utiliza níveis de emissão de CORINAIR), permitiu verificar uma maior concentração e maior dispersão de poluentes para situação da Figuras 4.11. A Figuras 4.11 registou um valor médio de concentração de $148,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, enquanto que a Figuras 4.9 registou um valores médio de $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esta situação justifica-se pelo aquilo que já foi descrito na secção 4.4.1, comparativamente, os níveis de emissão do CORINAIR são superiores à do HBEFA.

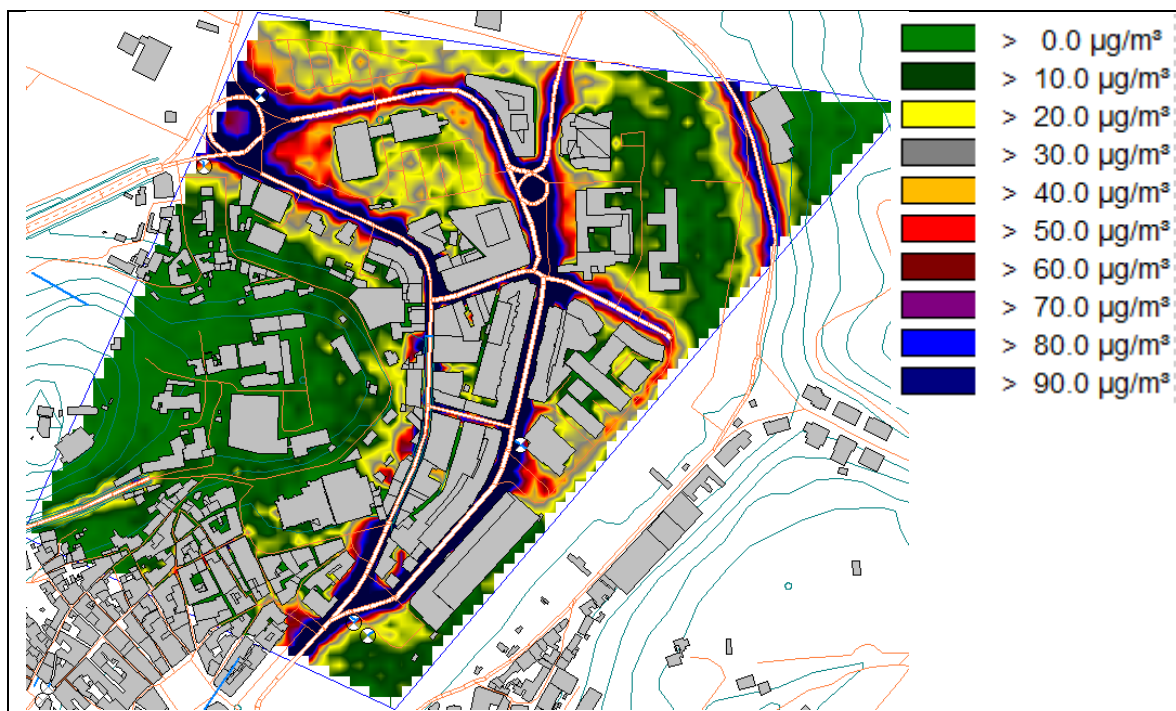


Figura 4.11 – Representação dos resultados de dispersão de NO_x utilizando os níveis de emissão de CORINAIR, incluindo a influência dos edifícios.

4.4.3 Dispersão de NO_2

A Figura 4.12 apresenta o resultado de dispersão de NO_2 utilizando níveis de emissão HBEFA, incluindo a influência dos edifícios. Por outro lado a Figura 4.13 apresenta o resultado da dispersão de NO_2 utilizando os níveis de emissão de CORINAIR, incluindo a influência dos edifícios.

Comparando os valores médios das concentrações e dispersão de NO_2 entre a situação da Figura 4.12 (HBEFA) e a situação da Figura 4.13 (CORINAIR) pode-se verificar que existe uma maior concentração e dispersão de poluente para a situação da Figura 4.13. A Figura 4.12 registou um valor médio de concentração de $4,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, enquanto que, a Figura 4.13 registou $31,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

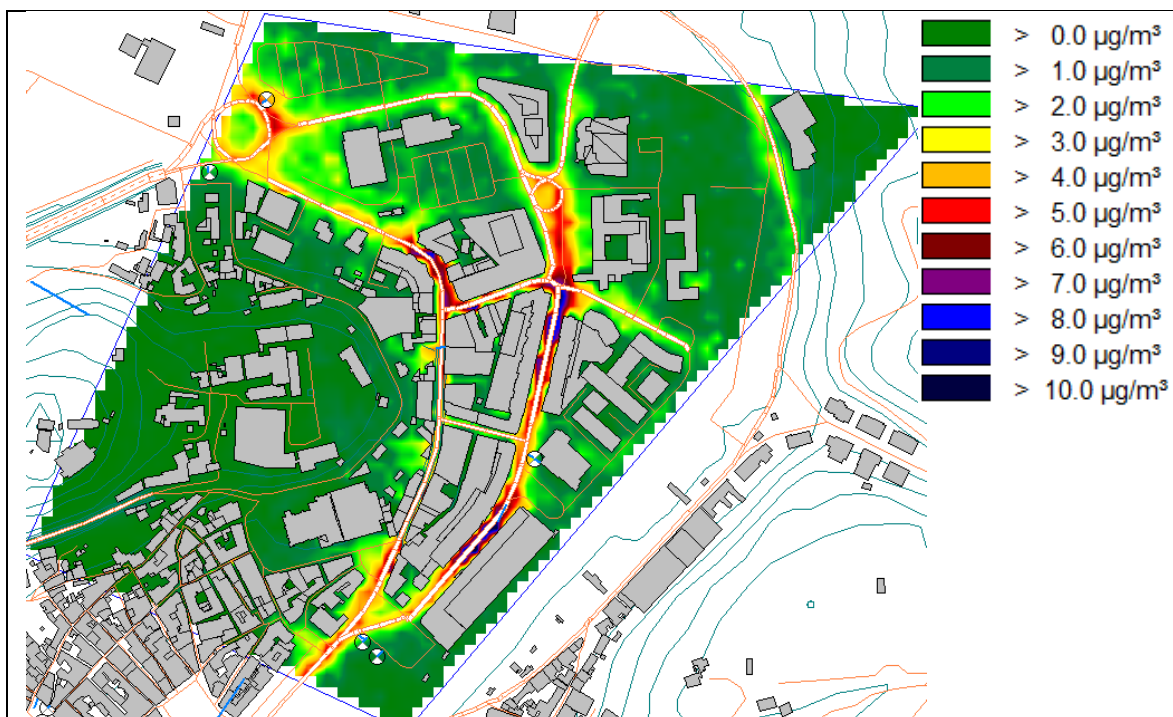


Figura 4.12 – Representação dos resultados de dispersão de NO_2 utilizando níveis de emissão HBEFA, incluindo a influência dos edifícios.

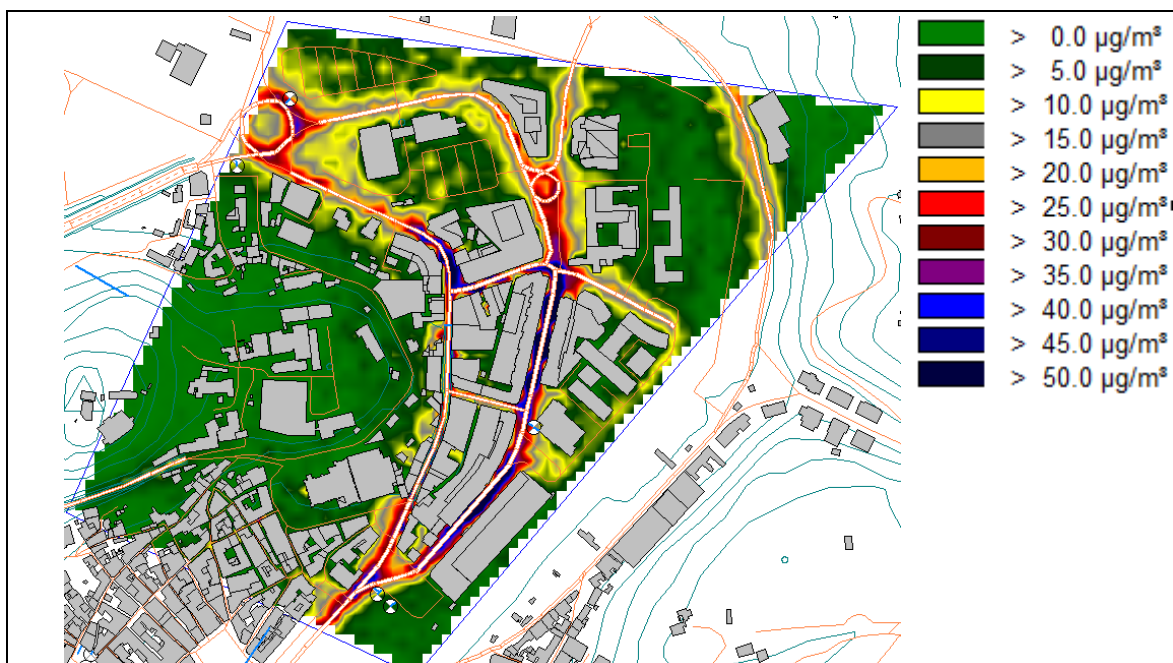


Figura 4.13 – Representação dos resultados de dispersão de NO_2 utilizando os níveis de emissão de CORINAIR, incluindo a influência dos edifícios.

4.4.4 Dispersão de PM_{10}

As Figuras 4.14 e 4.15 apresentam os resultados de dispersão de PM_{10} , incluindo a influência dos edifícios, utilizando níveis de emissão HBEFA e CORINAIR, respectivamente.

Comparando as concentrações e dispersão de PM_{10} entre as situações das Figuras 4.14 e 4.15, pode-se verificar que existe uma maior concentração e dispersão de poluente para a situação da Figuras 4.15 com valor médio de dispersão de $7,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a situação da Figura 4.14 registou um valor médio de $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Para todas as situações de dispersão analisadas (secção 4.4.2 , 4.4.3 e 4.4.4), foram obtidos sempre a mesma conclusão: existe sempre maior concentração e dispersão de poluente quando o AUSTAL utiliza níveis de emissão do CORINAIR, comparativamente com o uso de níveis de emissão HBEFA.



Figura 4.14 – Representação dos resultados de dispersão de PM_{10} utilizando níveis de emissão HBEFA, incluindo a influência dos edifícios.

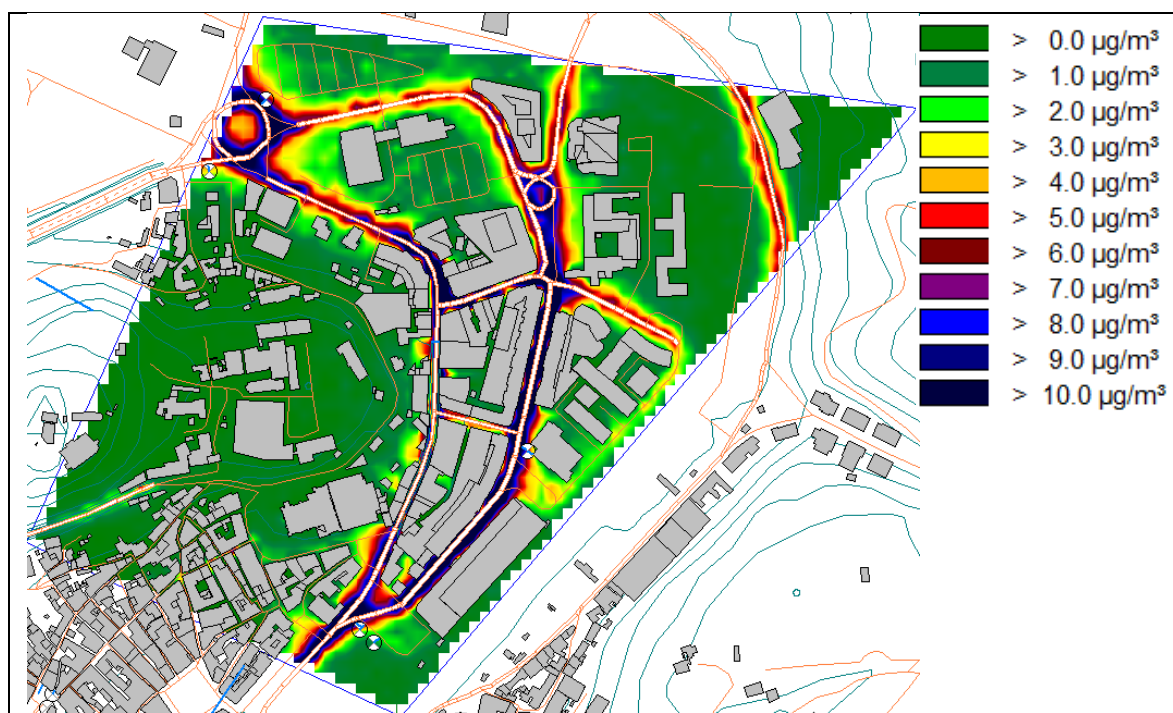


Figura 4.15 – Representação dos resultados de dispersão de PM_{10} utilizando os níveis de emissão de CORINAIR, incluindo a influência dos edifícios.

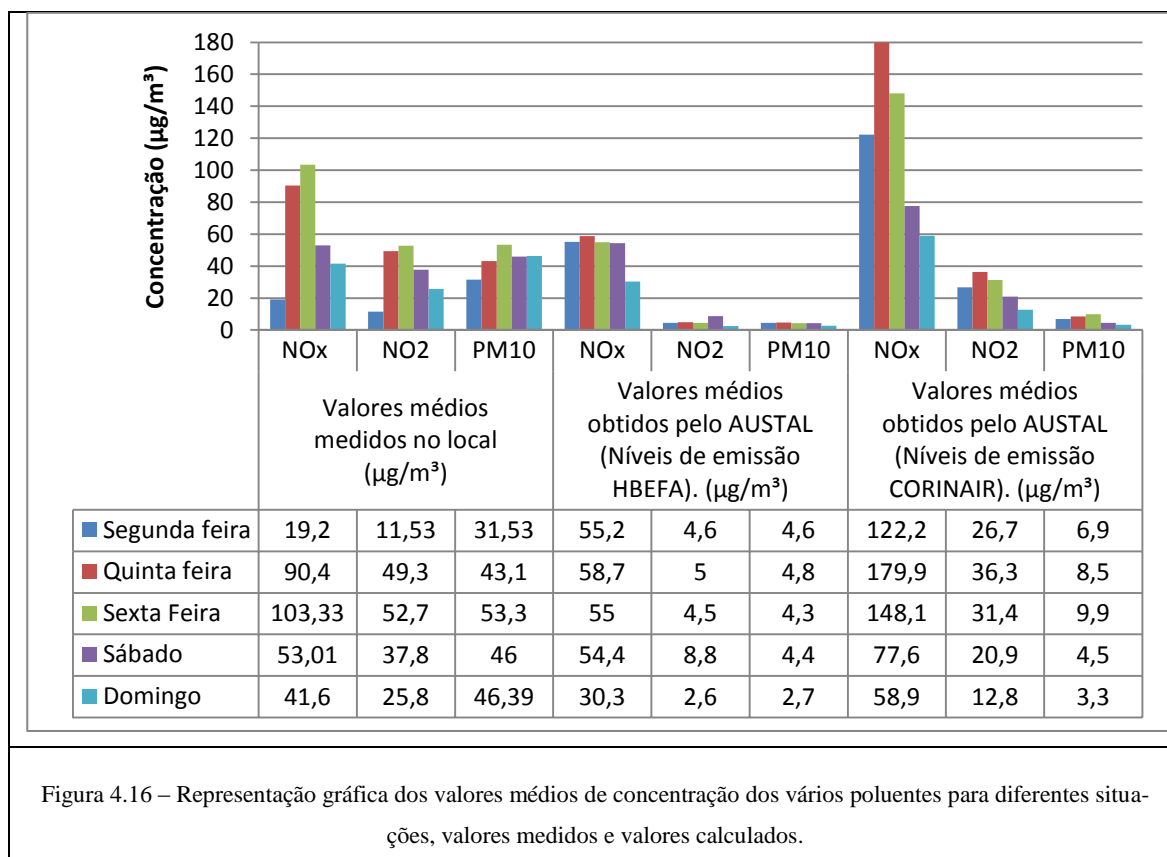
4.4.5 *Comparação Valores Medidos vs Valores Calculados*

Foram feitas a aferição dos valores calculados com base em valores medidos para aferir se os valores calculados estão certos.

A Figura 4.16 apresenta os resultados médios diários de concentração dos vários poluentes para diferentes situações, durante o período de estudo. Os valores da concentração de poluentes medidos no local, de uma forma geral, apresentam concentrações médios superiores comparativamente com as concentrações obtidos através do AUSTAL (utilizando emissão de HBEFA e CORINAIR), salvo a concentração de NO_x na situação que se usou a emissão do CORINAIR para calcular a dispersão no AUSTAL.

A superioridade dos valores médios medidos no local justifica-se pelo facto de esses tipos de medição além de registarem as influências do tráfego para a poluição do ar, também contabilizam os efeitos das outras fontes, como indústrias, que, ainda que não localizadas na zona de estudo, poderão ter influência na mesma por emitirem poluentes, nomeadamente partículas, que são transportadas pela atmosfera. Enquanto que os valores calculados

através do modelo AUSTAL apenas contabilizam o efeito do tráfego. Estes valores de escala mais larga, são traduzidos como um valor de fundo característico da zona. Por isso se usaram os dados da Ervideira, que a seguir se apresentam.



A Tabela 4.1 apresenta os valores médios de concentração de poluentes correspondente ao fundo rural, obtidos através da estação de Ervideira. Os valores dessa tabela foram adicionados aos valores médios urbanos, obtidos a partir do modelo de dispersão, de modo a comparar da melhor forma os valores medidos com os valores calculados.

		Valores médios de fundo rural, registados pela estação de Ervideira (µg/m³)	
Dias da Semana	Datas	NO ₂	PM ₁₀
Segunda-feira	29-11-2010	7,88	24
Quinta-feira	25-11-2010	14,96	35
Sexta-feira	26-11-2010	10,38	19
Sábado	04-12-2010	6,83	25
Domingo	05-12-2010	Não Disponível	Não Disponível

Tabela 4.1 – Valores médios correspondente ao fundo rural, obtidos através da estação de Ervideira, QualAr (2011)

A Figura 4.17 apresenta os resultados médios diários de concentração dos vários poluentes para diferentes situações durante o período de estudo, com os valores do fundo rural adicionados aos valores calculados. No gráfico da Figura 4.17 foram apresentados dois tipos de poluentes (NO_2 e PM_{10}) porque são os únicos poluentes analisados no presente estudo que tinham valores de fundo rural disponível. O domingo não foi considerado porque os valores de fundo rural para esse dia não se encontravam disponíveis.

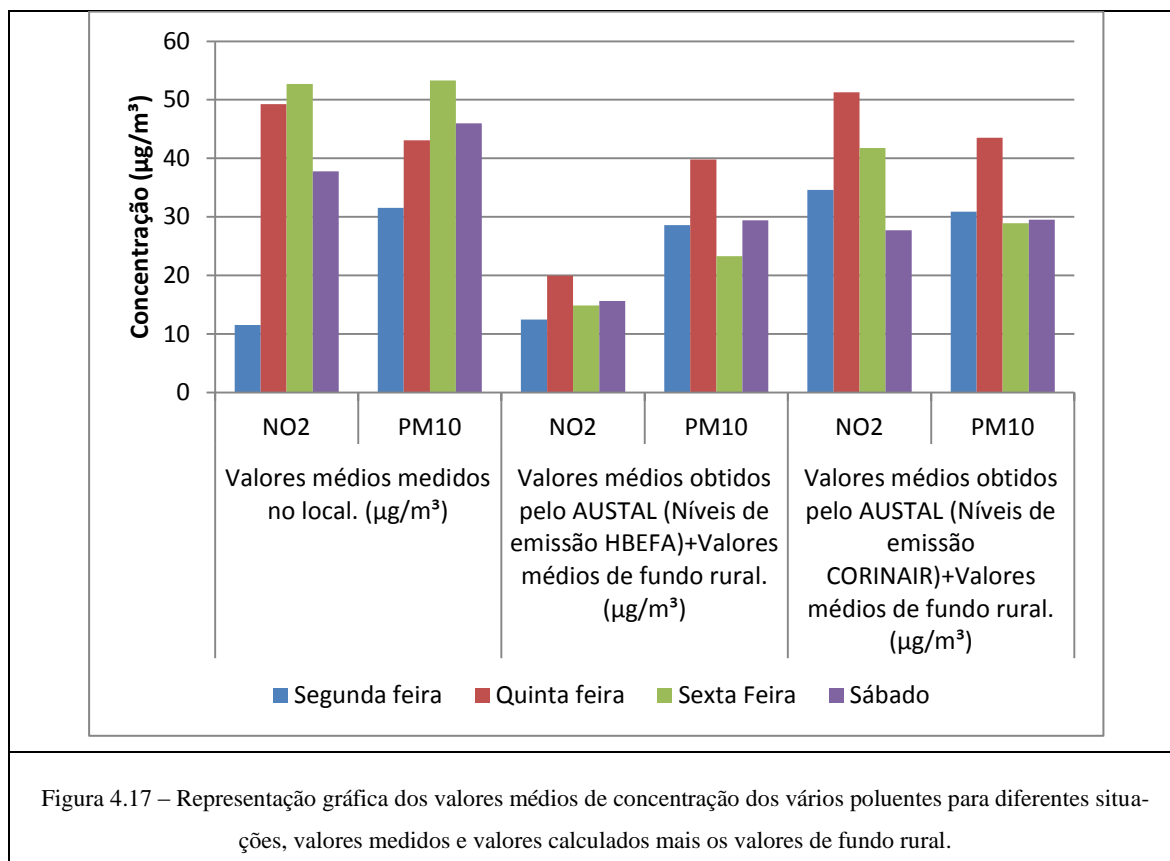
Pela análise da Figura 4.17, quanto se comparou os valores de concentrações medidos e os valores calculados pelo AUSTAL mais os valores do fundo rural verificou-se que a concentração dos dois poluentes considerados foi superior na situação de concentrações medidos no local.

As concentrações de NO_2 medidas no local, com exceção da segunda-feira, apresentam um valor superior para os restantes dias da semana em comparação com as concentrações calculados pelo AUSTAL, tanto com níveis de emissões HBEFA, como com níveis de emissões CORINAIR. Esta diferença deve-se às fontes de combustão utilizadas para aquecimento e afins na zona de estudo. Além da influência do tráfego, todas as outras fontes de combustão são contabilizadas na medição de concentração de poluentes no local, o que justifica um valor superior em relação aos valores calculados, apesar de os valores calculados terem sido adicionados os valores de fundo rural.

Relativamente as concentrações de PM_{10} medido no local apresentaram, igualmente, um valor superior para todos os dias da semana em comparação com as concentrações calculadas pelo AUSTAL tanto com níveis de emissões HBEFA como com níveis de emissões CORINAIR. Além do tráfego rodoviário, as partículas são produzidas pelas indústrias, obras de construção, práticas agrícolas, etc. Quando foram adicionados os valores de fundo rural aos valores calculados, verificou-se que os valores de concentrações de PM_{10} aproximaram-se dos valores medidos, principalmente para a situação de cálculo com os níveis de poluição obtidos pelo CORINAIR.

Na situação de cálculo de dispersão com os níveis de emissão obtidos pelo CORINAIR, tem-se os seguintes erros relativos para as PM_{10} : segunda-feira (1,99%); quinta-feira (0,93%); sexta-feira (45,76%); sábado (35,8%). À segunda e quinta-feira os valores de concentração de PM_{10} obtidos através de cálculo com os níveis de emissão obtidos pelo CORINAIR aproximam-se e muito do valor medido, com um erro de 1,99 e 0,93 % respec-

tivamente. Para sexta-feira e sábado os valores calculados diferem mais dos valores medidos.



4.4.6 Avaliação da Qualidade do Ar

Para a avaliação da qualidade do ar na zona de estudo, foram comparados os valores medidos no local e os valores calculados pelo CadnaA-APL, com os valores limites do Decreto-Lei nº 102/2010 de 23 de Setembro. Como referido na secção 2.4.3, uma das condições obrigatória no cálculo do Índice da Qualidade do Ar (IQar) é que deve existir, na zona de estudo, pelo menos um monitor para os poluentes NO₂, O₃ e PM₁₀, os outros poluentes não são obrigatórios. O CadnaA-APL não calcula a dispersão do O₃, nesse sentido só foi tido em consideração dois poluentes (NO₂ e PM₁₀) para avaliação da qualidade do ar.

A Tabela 4.2 mostra os valores da média diária dos poluentes NO₂ e PM₁₀ para as três situações em análise (valores medidos no local, valores obtidos pelo AUSTAL200 em função do número de veículos por hora + valores médios de fundo rural e valores obtidos pelo AUSTAL utilizando factores de poluentes do CORINAIR + valores médios de fundo rural).

	Valores médios medidos no local ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Valores médios obtidos pelo AUSTAL (Níveis de emissão HBEFA)+Valores médios de fundo rural. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Valores médios obtidos pelo AUSTAL (Níveis de emissão CORINAIR)+Valores médios de fundo rural. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
Dias da Semana	NO ₂	PM ₁₀	NO ₂	PM ₁₀	NO ₂	PM ₁₀
Segunda feira	11,531005	31,5305	12,48	28,6	34,58	30,9
Quinta feira	49,281546	43,09508	19,96	39,8	51,26	43,5
Sexta Feira	52,687782	53,28527	14,88	23,3	41,78	28,9
Sábado	37,788057	45,9951	15,63	29,4	27,73	29,5
Domingo	25,822113	46,38154	Não Disponível	Não Disponível	Não Disponível	Não Disponível

Tabela 4.2 – Valores da média diária dos poluentes NO₂ e PM₁₀.

A Agência Portuguesa do Ambiente elaborou uma matriz de classificação do IQar (ver Tabela 2.6) que varia de Muito Bom a Mau, onde o grau da degradação da qualidade do ar estará mais dependente da pior classificação. De acordo com os valores da Tabela 4.2, foi obtido as seguintes classificações para as 3 situações em análises:

- Classificação dos valores médios medidos no local: i) segunda-feira: NO₂ – 11,53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Muito Bom) e PM₁₀ – 31,53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Bom), o que equivale a um IQar Bom; ii) quinta-feira: NO₂ – 49,28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Muito Bom) e PM₁₀ – 43,09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Médio), o que equivale a um IQar Médio; iii) sexta-feira: NO₂ – 52,69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Muito Bom) e PM₁₀ – 53,29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Fraco), o que equivale a um IQar Fraco; iv) sábado: NO₂ – 37,79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Muito Bom) e PM₁₀ – 46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Médio), o que equivale a um IQar Médio; v) domingo: NO₂ – 27,82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Muito Bom) e PM₁₀ – 46,38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Médio), o que equivale a um IQar Médio.
- Classificação dos valores obtidos pelo CadnaA-APL em função do número de veículos por hora + valores médios de fundo rural: segunda-feira: NO₂ – 12,48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Muito Bom) e PM₁₀ – 28,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Bom), o que equivale a um IQar Bom; ii) quinta-feira: NO₂ – 19,96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Muito Bom) e PM₁₀ – 39,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Médio), o que equivale a um IQar Médio; iii) sexta-feira: NO₂ – 14,88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Muito Bom) e PM₁₀ – 23,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Bom), o que equivale a um IQar Bom; iv) sábado: NO₂ – 15,63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Muito Bom) e PM₁₀ – 29,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Bom), o que equivale a um IQar Bom;
- Classificação dos valores obtidos pelo CadnaA-APL utilizando factores de poluentes do COPERT + valores médios de fundo rural: segunda-feira: NO₂ – 34,58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Muito Bom) e PM₁₀ – 30,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Bom), o que equivale a um IQar Bom; ii)

quinta-feira: $\text{NO}_2 - 51,26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Muito Bom) e $\text{PM}_{10} - 43,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Médio), o que equivale a um IQar Médio; iii) sexta-feira: $\text{NO}_2 - 41,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Muito Bom) e $\text{PM}_{10} - 28,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Bom), o que equivale a um IQar Bom; iv) sábado: $\text{NO}_2 - 27,73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Muito Bom) e $\text{PM}_{10} - 29,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Bom), o que equivale a um IQar Bom.

Comparando os diferentes dias da semana das 3 situações analisadas, concluiu-se que o IQar não variou para situações de medição diferente, obtendo sempre a mesma classificação com a exceção da sexta-feira (valores medidos) onde foi obtida um IQar Fraca. O valor de NO_2 esteve sempre com uma classificação Muito Bom para todas as situações, ao contrário dos valores de PM_{10} que foi variando de Fraca a Bom.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

5. Conclusões

Foi feito o estudo do impacto do tráfego rodoviário na poluição atmosférica de um centro urbano a partir da análise da emissão e dispersão de poluentes proveniente dos veículos automóveis.

No local escolhido para exemplo – centro da cidade de Leiria, verificou-se que o perfil da evolução diária do tráfego entre os dias úteis da semana não varia muito, assim como o total de veículos diários. Sexta-feira é o dia que apresenta maior volume de tráfego rodoviário. O tráfego é constituído na sua maioria por veículos Diesel com cilindrada inferior a 2000cm³ e veículos a gasolina com cilindrada inferior a 1400cm³ enquadrados na norma Euro 3.

Nas diversas análises de emissão efectuadas no programa COPERT 4, considerou-se a diferença nas concentrações de poluentes durante o período de arranque a frio, superiores às emitidas durante o funcionamento a quente pelo facto no arranque a frio o catalisador ainda não ter atingido a temperatura que promove as reacções químicas de oxidação e redução, que transformam os poluentes nocivos em gases inofensivos, sendo os gases resultantes da combustão libertados “directamente” para a atmosfera.

As concentrações de emissões seguiram a evolução do tráfego tendo, em geral, registado maior concentração de poluentes nos dias com maior tráfego.

Para o mesmo volume de tráfego, os valores da emissão do modelo CORINAIR são superiores às do modelo do *handbook* HBEFA. Devido ao modo como os dados de tráfego/emissões são introduzidos, o perfil de emissões do CORINAIR está directamente relacionado com o perfil do tráfego rodoviário o que não acontece com o HBEFA.

Na modelação da dispersão de poluentes considerou-se a diferença entre a consideração, ou não, da volumetria dos edifícios como barreiras à dispersão. Os valores de concentração

de poluentes obtidos através do modelo AUSTAL2000 são superiores para a situação onde foi considerada a influência dos edifícios, para o mesmo volume de tráfego e o mesmo arquivo meteorológico, comparativamente aos valores calculados sem considera a influência dos edifícios.

Do modelo de dispersão (AUSTAL) resultam níveis de concentração de poluentes mais elevados quando foram utilizados os valores de emissão do modelo CORINAIR, quando comparado com o modelo de emissão HBEFA.

Os valores da concentração de poluentes medidos no local, de uma forma geral, apresentaram concentrações médios superiores comparativamente com as concentrações obtidos através do AUSTAL (utilizando emissão de HBEFA e CORINAIR), facto que pode justificar-se pela existência de fontes de poluição na proximidade, para além do tráfego rodoviário e sem influência na estação que confere o valor de fundo considerado.

Quando foram adicionadas os valores de fundo rural aos valores calculados, verificou-se que os valores de concentrações de PM_{10} se aproximaram dos valores medidos, principalmente para a situação de cálculo com os níveis de poluição obtidos pelo CORINAIR, sendo que em alguns dias da semana (ex: quinta-feira) o erro relativo chega a ser inferior a 1%.

Por último, o trabalho expõe uma metodologia de análise da influência da poluição do tráfego rodoviário na poluição atmosférica que poderá servir para a elaboração de diversos cenários com vista à verificação da evolução da poluição em função das respectivas fontes poluidoras.

Bibliografia

AEA (2011) - Agência Europeia de Ambiente. <http://www.eea.europa.eu/>. Disponível em Maio 2011.

Agencia Europea de Ambiente (2003). “*O ambiente na Europa: Terceira avaliação.*” 2003.

AECC (2011). <http://www.aecc.eu/en/Technology/Catalysts.html>. Disponível em Março 2011.

AKPF (2011). http://www.akpf.org/pub/2010_ftf/. Disponível em Março 2011.

S. Mc Allister, J.-Y. Chen A and C. F-Pello (2011). “*Fundamentals of Combustion Processes.*” 2011.

AUSTAL2000 2.4 (2009). “*AUSTAL2000 Program Documentation of Version 2.4 2009-02-03.*”

Auto Motor (2011). Auto Motor, número 266, volume 23 mensal. Agosto 2011.

A. C. B. Rocha, C. D. Frota, J. P. Tridapalli, N. Kuwahara, T. F. A. Peixoto and R. Balasiano (2009). “*Gerenciamento da Mobilidade: Experiências em Bogotá, Londres e Alternativas Pós-modernas.*” 2009.

D. Bosteels and R. A. Searles (2002). “*Exhaust Emission Catalyst Technology-New challenges and opportunities in Europe.*” 2002.

DataKustik (260705). “*CadnaA-APL Basic Instructions, DataKustik 260705.*”

DieselNet (2011). <http://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php>. Disponível em Maio 2011.

Dieselretrofit (2011). http://www.dieselretrofit.eu/technologies_filters.html. Disponível em Março 2011.

EEA (2007). <http://www.eea.europa.eu/publications/EMEPCORINAIR5/Glossary2007.pdf>.

EEA Report (No 2/2010). “*TERM 2009: indicators tracking transport and environment in the European Union - Towards a resource-efficient transport system.*” 2010.

EPA (2001). “*Nonroad Diesel Emission Standards- Staff Technical Paper –r01052.*” 2001.

Euro-Lex (2011). <http://eur-lex.europa.eu/>. Disponível em Maio 2011.

C. Fevre, J. May and D.Bostells (2010). “*Emissions control technologies to meet current and future European vehicle emissions legislation*” 2010.

T.K. Garrett et al. (2001). “*The Motor Vehicle.*” *Thirteenth Edition*, 2001.

L. Guzzella and C. H. Onder (2010). “*Introduction to Modeling and Control of Internal Combustion Engine Systems.*” 2010.

Instituto Camões (2011). http://www.instituto-camoes.pt/lextec/por/domain_1/definition/17204.html. Disponível em Fevereiro 2011.

Instituto Nacional de Estatística, INE (2011). <http://www.ine.pt>. Disponível em Agosto 2011.

Jornal Publico (2011). http://www.publico.pt/Local/veiculos-mais-poluentes-proibidos-de-entrar-na-baixa-lisboa-a-partir-do-ve-rao_1476307?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+PublicoLocal+%28Publico.pt+-+Local%29. Disponível em Maio 2011.

C. Kouridis, D. Gkatzoflias, I. Kioutsioukis and L. Ntziachristos. “*EMISIA SA Report No: 09.RE.014.V2 Uncertainty estimates and guidance for road transport emission Calculations*” December 18, 2009.

LEZ (2011). <http://www.lowemissionzones.eu/>. Disponível em Fevereiro 2011.

- M. Liberman (2008). *“Introduction to Physics and Chemistry of Combustion. Explosion, Flame, Detonation.”* 2008.
- Manufacturers of Emission Controls Association - MECA (2009). *“Manufacturers of Emission Controls Association, pdf.”* 2009.
- Manufacturers of Emission Controls Association - MECA (2011). http://www.meca.org/cs/root/diesel_retrofit_subsite/what_is_retrofit/what_is_retrofit. Disponível em Março 2011.
- J. Martins (2006). *“Motores de Combustão Interna.”*, Publindústria, 2ª Edição, 2006.
- Nett Technologies - NeTT (2011). <http://www.nett.ca/faq/lpg-7.html>. Disponível em Março 2011.
- L. Ntziachristos and Z. Samaras (2009). *“EMEP/EEA emission inventory guidebook 2009.”*
- O portal da União Europeia (2011) http://europa.eu/index_pt.htm. Disponível em Maio 2011.
- L. Pereira and P. Saldiva. *“Poluição Atmosférica e seus Efeitos na Saúde Humana”* Faculdade de Medicina da USP.
- Planetaazul (2011). <http://www.planetaazul.pt/>. Disponível em Maio 2011.
- F. T. Princiotta (2011). *“Global Climate Change -The Technology Challenge.”* 2011.
- Transport for London (2008). *“A Zona de Baixa Emissão de Poluentes (Low Emission Zone) encontra-se agora em funcionamento.”* 2008.
- H. M. F. Santos (2011). *“Experimental and Numerical Investigation Of Three Way Catalytic systems For Automotive Vehicles.”* Dezembro de 2010
- QualAr (2011) - Agência Portuguesa do Ambiente. www.qualar.org. Disponível em 2011.
- C. Schwerdt (2006). *“Modelling NO_x-Formation in Combustion Processes – NO_x.”* 2006.
- H. Tente and P. Gomes (2009). *“Testes com filtros de partículas em veículos pesados.”* 2009.

S. R. Turns (2000). “*An introduction to Combustion Concepts and Applications.*” 2000.

Anexos

Juntamente com este relatório foi entregue um DVD contendo todos os anexos referidos no presente trabalho. Neste, os anexos estão estruturados da seguinte forma:

Nome da pasta principal: Projecto_Mestrado_Elton_Alves_09_2011

Análise COPERT

- Anexo VII – Resultado de emissão de todas as ruas utilizados no trabalho
- Anexo VI- Folha de cálculo da conversão das emissões

Análise CadnaA

- Anexo IX - Resultados do cálculo de dispersão de todos os dias analisados
- Anexo II – Folha de campo.

Análise de parque automóvel

- Anexo III - Letras da matrícula do veículo e os correspondentes ano.
- Anexo IV- Folha de análise.
- Anexo V- Folha de cálculo completa.
- Anexo I - Factores de emissão obtidos experimentalmente
- Anexo VIII- Gráficos diários de todos os dias analisados